



**TUGAS AKHIR (RC14-1501)**

**PERENCANAAN MODIFIKASI GEDUNG  
STIKES RS ANWAR MEDIKA DENGAN  
METODE BETON PRACETAK DAN SISTEM GANDA**

**PRIMANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP: 3113.100.059**

**Dosen Pembimbing :  
Dr.techn.Pujo Aji,ST.,MT.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





TUGAS AKHIR (RC14-1501)

**PERENCANAAN MODIFIKASI GEDUNG STIKES RS  
ANWAR MEDIKA DENGAN METODE BETON  
PRACETAK DAN SISTEM GANDA**

PRIMANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP. 3113 100 059

Dosen Pembimbing  
Dr.techn.Pujo Aji,ST.,MT

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





FINAL PROJECT (RC14-1501)

**MODIFICATION PLANNING BUILDING STRUCTURE  
OF STIKES RS ANWAR MEDIKA USING PRECAST AND  
DUAL SYSTEM**

PRIMANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP. 3113 100 059

Academic Supervisor  
Dr.techn.Pujo Aji,ST.,MT

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
Civil Engineering and Planning Faculty  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya 2017

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**PERENCANAAN MODIFIKASI GEDUNG STIKES RS  
ANWAR MEDIKA DENGAN METODE PRACETAK DAN  
SISTEM GANDA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada :

Bidang Studi Struktur  
Program Studi S-1 Reguler Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PRIMANDIKA DAVID VILLASCO**

NRP.3113 100 059

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing :

**Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT.**

**NIP.197302081998021001**



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **PERENCANAAN MODIFIKASI GEDUNG STIKES RS ANWAR MEDIKA DENGAN METODE PRACETAK DAN SISTEM GANDA**

<b>Nama Mahasiswa</b>	<b>: Primandika David Villasco</b>
<b>NRP</b>	<b>: 3113100059</b>
<b>Jurusan</b>	<b>: Teknik Sipil FTSP-ITS</b>
<b>Dosen Pembimbing</b>	<b>: Dr.techn.Pujo Aji,ST.,MT</b>

## **Abstrak**

*Dalam penulisan tugas akhir ini akan dilakukan perencanaan struktur dengan menggunakan beton precast pada gedung Stikes Anwar Medika. Menyadari bahwa beton precast adalah suatu metode baru dalam konstruksi, yang mana beton precast ini lebih ekonomis, pelaksanaan yang lebih cepat, dan mempunyai kualitas yang baik. Oleh karena itu, sangat dianjurkan diterapkan dalam gedung ini mengingat akan bertambahnya jumlah mahasiswa dari tahun ke tahun.*

*Adapun hasil dari penulisan tugas akhir ini yaitu untuk mengevaluasi perilaku struktur pada pelaksanaan bertahap dengan menggunakan beton precast dengan menggunakan sambungan basah joint precast yang mendekati monolit. Begitu pula akan dilakukan evaluasi bagaimana cara kerja sistem pracetak yang dipakai yaitu Sistem Pracetak Bresphaka yang mana dalam sistem ini mempunyai banyak keunggulan dibanding dengan sistem Struktur Pracetak yang lain. Gedung ini dirancang menggunakan Sistem Ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.*

*Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa perencanaan gedung Stikes Anwar Medika dengan metode precast diharapkan mampu menahan gaya-gaya yang terjadi dan sebagai hasil akhir akan dituangkan dalam bentuk gambar perencanaan.*

***Kata kunci : Sambungan Basah , Sistem Pracetak Bresphaka , Sistem Ganda***

# **MODIFICATION PLANNING BUILDING STRUCTURE OF STIKES RS ANWAR MEDIKA USING PRECAST AND DUAL SYSTEM**

**Student Name** : Primandika David Villasco  
**NRP** : 3113100059  
**Department** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Academic Supervisor** : Dr.techn.Pujo Aji,ST.,MT

## **Abstract**

*In writing this final project will be done with the structure of the structure using precast concrete in the building Stikes Anwar Medika. Realizing that precast concrete is a new method of construction, which is more economical, faster execution, and has good quality. Therefore, it is highly recommended to be applied in this building considering the increasing number of students from year to year.*

*The result of this final writing is to evaluate the behavior of the structure on the gradual implementation by using precast concrete by using the joint wet joint precast approaching the monolith. Similarly, it will be evaluated how the precast system used is Precetak Bresphaka System which in this system has many advantages compared with other Precast Printing System. . The building is designed using a Dual System with medium-moment frame bearings capable of withstanding at least 25 percent of established seismic forces and specially reinforced concrete sliding walls that can withstand 75 percent of the seismic force set.*

*Overall, it can be concluded that the planning of Stikes Anwar Medika building with precast method is expected to*

*withstand the gay-style that occurs and as the final result will be poured in the form of planning drawings.*

**Keywords: Wet Connections, Bresphaka Precast System, Dual System**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadapan Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya atas berkah dan Anugerah-Nyalah kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Dalam penyelesaiannya sudah tentu kami banyak mendapatkan kesulitan-kesulitan, namun atas bantuan beberapa pihak tugas ini dapat terselesaikan. Untuk itu, pada kesempatan kali ini ijinlah kami menghaturkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Allah SWT atas segala karunia dan kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan baik doa dan materil, dan menjadi motivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. techn. Pujo Aji, ST., MT selaku dosen konsultasi yang telah banyak memberikan bimbingan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr.Ir.Edijatno,CES,DEA selaku Dosen Wali penulis.
5. Teman-teman Teknik Sipil yang terus mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Seluruh dosen pengajar Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan. Seluruh staff dan karyawan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.

Kami sadar bahwa Tugas Akhir yang telah kami buat masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran sangat kami butuhkan dalam penyempurnaan tugas kami yang akan

datang. Kami berharap apa yang telah kami buat ini dapat bermanfaat

Akhir kata kami sebagai penyusun mohon maaf jika ada salah dalam penulisan dan pembuatan laporan ini. Terima kasih.

Surabaya, 25 Juli 2017

Penyusun

## DAFTAR ISI

Abstrak .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xxi
DAFTAR TABEL .....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	2
1.3    Batasan Masalah .....	2
1.4    Tujuan .....	3
1.5    Manfaat .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Umum .....	5
2.2    Sistem untuk Gedung.....	5
2.2.1    Sistem Pemikul Rangka.....	5
2.2.2    Dinding Geser.....	6
2.2.3    Sistem Ganda.....	6
2.3    Sistem Pracetak.....	6
2.3.1    Sistem Struktur Pracetak Bresphaka .....	6
2.4    Data Perencanaan.....	8
2.5    Penentuan Kriteria Desain .....	9
2.6    Preliminary Design .....	12
2.6.1    Perencanaan Dimensi Kolom.....	12
2.6.2    Perencanaan Dimensi Balok Induk .....	12
2.7    Perhitungan Struktur Sekunder .....	13
2.7.1    Penentuan Dimensi Pelat.....	13

2.7.2	Perencanaan Balok Anak.....	15
2.7.3	Perencanaan Tangga.....	15
2.7.4	Perencanaan Lift.....	16
2.7.5	Pembebanan.....	16
2.7.6	Kombinasi Pembebanan .....	19
2.8	Permodelan dan Analisa Struktur .....	20
2.9	Perhitungan Struktur Utama .....	20
2.9.1	Perencanaan Balok Induk .....	21
2.9.2	Perencanaan Kolom.....	24
2.9.2	Perencanaan Struktur Dinding Geser .....	25
2.10	Perencanaan Sambungan .....	25
2.10.1	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom .....	26
2.10.2	Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak.....	29
2.10.3	Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak .....	30
2.11	Tinjauan Elemen Pracetak .....	31
2.11.1	Proses Produksi Elemen Beton Pracetak .....	31
2.12	Pengangkatan Elemen Pracetak .....	32
2.12.1	Pengangkatan Pelat Pracetak .....	32
2.12.2	Pengangkatan Balok Pracetak .....	33
2.13	Proses Pemasangan Elemen Beton Pracetak.....	35
2.13.1	Pekerjaan Elemen Kolom .....	35
2.13.2	Pekerjaan Elemen Balok Pracetak .....	36
2.13.3	Pekerjaan Tangga .....	36

2.13.4	Pemasangan Elemen Pelat Pracetak .....	36
2.14	Transportasi Elemen Beton Pracetak .....	36
2.14.1	Sistem Transportasi .....	36
2.14.2	Jadwal Pengangkutan Elemen Beton Pracetak ....	37
2.15	Perencanaan Pondasi.....	37
2.15.1	Kebutuhan Tiang Pancang.....	38
2.15.2	Perencanaan Terhadap Geser .....	40
2.16	Penggambaran Hasil Perhitungan .....	41
BAB III METODOLOGI .....		43
3.1	Pengumpulan Data .....	44
3.2	Studi Literatur .....	44
3.3	Preliminary Design .....	44
3.4	Perhitungan Struktur Sekunder .....	45
3.4.1	Pelat .....	45
3.4.2	Balok .....	45
3.5	Pembebanan .....	46
3.6	Permodelan dan Analisa Struktur .....	46
3.7	Perhitungan Struktur Utama .....	47
3.8	Perencanaan Pondasi.....	47
3.9	Perencanaan Sambungan .....	47
3.9.1	Sambungan Dengan Cor Setempat.....	48
BAB IV PEMBAHASAN .....		51
4.1	Preliminary Desain.....	51
4.1.1	Umum.....	51
4.1.2	Data Perencanaan .....	51

4.1.3	Pembebanan.....	52
4.1.4	Perencanaan Dimensi Balok.....	52
4.1.5	Perencanaan Tebal Pelat.....	55
4.1.6	Perencanaan Dimensi Kolom .....	62
4.1.7	Perencanaan Tebal Dinding Geser .....	64
4.2	Perencanaan Pelat .....	64
4.2.1	Data Perencanaan .....	65
4.2.2	Pembebanan.....	66
4.2.3	Perhitungan Tulangan Pelat.....	68
4.2.3.4	Penulangan Stud Pelat Lantai.....	75
4.3	Perencanaan Balok Anak Pracetak .....	81
4.3.1	Data Perencanaan Balok Anak Pracetak .....	82
4.3.2	Pembebanan Balok Anak Pracetak.....	82
4.3.3	Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak .....	86
4.3.4	Pengangkatan Balok Anak .....	93
4.3.5	Kontrol Lendutan .....	97
4.4	Perencanaan Tangga .....	97
4.4.1	Data Perencanaan .....	97
4.4.2	Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur ..	99
4.4.4	Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes.....	104
4.5	Perencanaan Balok Lift .....	112
4.5.2	Perencanaan Dimensi Balok Lift.....	114
4.5.3	Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 40/50 ....	119
4.6	Pemodelan Struktur.....	122

4.6.1	Umum.....	122
4.6.2	Data-Data Perencanaan .....	122
4.6.3	Perhitungan Berat Struktur .....	124
4.6.4	Kombinasi Pembebanan .....	125
4.6.5	Analisa Beban Gempa .....	125
4.6.6	Pembebanan Gempa Dinamis.....	129
4.6.7	Kontrol Desain .....	130
4.7	Perencanaan Balok Induk .....	142
4.7.1	Umum.....	142
4.7.1	Perencanaan Balok Induk Pracetak .....	143
4.8	Perencanaan Kolom.....	164
4.8.2	Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom .....	166
4.9	Perencanaan Dinding Geser .....	171
4.9.1	Perencanaan Dinding Geser Arah Y.....	172
4.9.2	Perencanaan Dinding Geser Arah X.....	177
4.10	Perencanaan Sambungan .....	182
4.10.1	Umum.....	182
4.10.2	Konsep Desain Sambungan .....	183
4.10.3	Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom.....	184
4.10.4	Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak .....	189
4.10.5	Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok.....	192
4.11	Perencanaan Pondasi.....	195
4.11.1	Umum.....	195
4.11.2	Data Tanah .....	195
4.11.3	Kriteria Design .....	195

4.11.4	Daya Dukung.....	197
4.11.5	Perencanaan Poer ( <i>pile cap</i> ).....	206
4.11.6	Perencanaan <i>Tie Beam</i> (Balok Pengikat) .....	210
4.12	Metode Pelaksanaan.....	217
4.12.1	Umum.....	217
4.12.2	Pengangkatan dan Penempatan Crane.....	217
4.12.3	Pekerjaan Elemen Kolom .....	219
4.12.4	Pemasangan Elemen Balok Induk .....	219
4.12.5	Pemasangan Elemen Balok Anak.....	220
4.12.6	Pemasangan Elemen Pelat.....	220
4.12.7	Transportasi Elemen Beton Pracetak.....	221
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		223
5.1	Kesimpulan .....	223
5.2	Saran .....	224
DAFTAR PUSTAKA.....		226
LAMPIRAN .....		229



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> <i>Beam Side Way Mechanism</i> .....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Sistem Struktur Pracetak Brephaska (Pertemuan Kolom-Balok).....	7
<b>Gambar 2. 3</b> Penentuan desain spectral sesuai SNI 1726:2012 .	10
<b>Gambar 2. 4</b> Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur.....	14
<b>Gambar 2. 5</b> Ilustrasi kuat momen yang bertemu di HBK.....	24
<b>Gambar 2. 6</b> Sambungan balok dengan kolom .....	27
<b>Gambar 2. 7</b> Parameter geometri konsol pendek .....	28
<b>Gambar 2. 8</b> Hubungan Balok Kolom .....	29
<b>Gambar 2. 9</b> Sambungan Antara Balok dengan Pelat .....	30
<b>Gambar 2. 10</b> Sambungan Balok dan Pelat pada Tumpuan.....	30
<b>Gambar 2. 11</b> Sambungan balok induk dengan balok anak.....	31
<b>Gambar 2. 12</b> Diagram Alir Fabrikasi Elemen Pracetak .....	32
<b>Gambar 2. 13</b> Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) .....	33
<b>Gambar 2. 14</b> Pengangkatan balok pracetak .....	34
<b>Gambar 2. 15</b> Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan .....	34
<b>Gambar 2. 16</b> Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok.....	34
<b>Gambar 2. 17</b> Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang.....	39
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram alir metode penyelesaian tugas akhir.....	43
<b>Gambar 3. 2</b> Pelat pracetak tanpa lubang ( <i>Solid Slab</i> ).....	45
<b>Gambar 3. 3</b> Balok berpenampang persegi ( <i>Rectangular Beam</i> ) .....	46
<b>Gambar 3. 4</b> Sambungan dengan cor di tempat .....	49
<b>Gambar 4. 1</b> Denah pembalokan.....	53
<b>Gambar 4. 2</b> Pelat tipe C (120 cm x 450 cm).....	68
<b>Gambar 4. 3</b> Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat).....	72
<b>Gambar 4. 4</b> Diagram gaya geser horizontal penampang komposit.....	76
<b>Gambar 4. 5</b> Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat) .....	78
<b>Gambar 4. 6</b> Momen pengangkatan pelat arah i .....	79

<b>Gambar 4. 7</b>	Momen pengangkatan pelat arah j .....	79
<b>Gambar 4. 8 (a)</b>	Dimensi balok anak sebelum komposit, .....	82
<b>Gambar 4. 9 (b)</b>	Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit .....	82
<b>Gambar 4. 10</b>	Momen saat pengangkatan balok anak .....	94
<b>Gambar 4. 11</b>	Letak titik pengangkatan.....	95
<b>Gambar 4. 12</b>	Perencanaan tangga tampak atas .....	98
<b>Gambar 4. 13</b>	Potongan tangga.....	99
<b>Gambar 4. 14</b>	Sketsa beban pada tangga .....	100
<b>Gambar 4. 15</b>	Free body diagram gaya-gaya pada tangga.....	102
<b>Gambar 4. 16</b>	Bidang lintang (D) pada tangga .....	103
<b>Gambar 4. 17</b>	Bidang normal (N) pada tangga .....	103
<b>Gambar 4. 18</b>	Bidang momen (M) pada tangga.....	104
<b>Gambar 4. 19</b>	Denah Lift .....	113
<b>Gambar 4. 20</b>	Permodelan 3D Struktur Utama.....	123
<b>Gambar 4. 21</b>	Peta untuk menentuka harga $S_s$ .....	126
<b>Gambar 4. 22</b>	Peta untuk menentukan harga $S_1$ .....	126
<b>Gambar 4. 23</b>	Grafik Respon Spectrum Daerah Krian .....	128
<b>Gambar 4. 24</b>	Denah Pembalokan .....	143
<b>Gambar 4. 25</b>	Pembebanan BI.1 Sebelum Komposit .....	145
<b>Gambar 4. 26</b>	Potongan Balok T BI .....	153
<b>Gambar 4. 27</b>	Penulangan Balok .....	156
<b>Gambar 4. 28</b>	Momen saat pengangkatan balok induk.....	161
<b>Gambar 4. 29</b>	Letak titik pengangkatan.....	162
<b>Gambar 4. 30</b>	Diagram interaksi aksial vs momen kolom.....	166
<b>Gambar 4. 31</b>	Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK... ..	167
<b>Gambar 4. 32</b>	Denah penempatan shearwall.....	172
<b>Gambar 4. 33</b>	Diagram tulangan geser <i>shearwall</i> 1.....	175
<b>Gambar 4. 34</b>	Diagram tulangan geser <i>shearwall</i> 2.....	180
<b>Gambar 4. 35</b>	Geometrik konsol pendek .....	184
<b>Gambar 4. 36</b>	Detail batang tulangan dengan kait standar .....	188
<b>Gambar 4. 37</b>	Panjang Penyaluran Balok Induk.....	188
<b>Gambar 4. 38</b>	Panjang Penyaluran Balok Anak.....	192
<b>Gambar 4. 39</b>	Panjang Penyaluran Pelat.....	193
<b>Gambar 4. 40</b>	<i>Prestressed Concrete Spun Pile</i> .....	196

<b>Gambar 4. 41</b>	Grafik daya dukung ijin tanah.....	202
<b>Gambar 4. 42</b>	Konfigurasi rencana tiang pancang.....	204
<b>Gambar 4. 43</b>	Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom .....	219
<b>Gambar 4. 44</b>	Pemasangan Balok Induk Pracetak .....	219
<b>Gambar 4. 45</b>	Pemasangan Balok Anak Pracetak.....	220
<b>Gambar 4. 46</b>	Tulangan Atas Pelat .....	220

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter.....	11
<b>Tabel 2. 2</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter.....	11
<b>Tabel 2. 3</b> Beban mati pada struktur.....	17
<b>Tabel 2. 4</b> Beban hidup pada struktur.....	18
<b>Tabel 2. 5</b> Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis .....	35
<b>Tabel 3. 1</b> Perbedaan Sambungan.....	48
<b>Tabel 4. 1</b> Rekapitulasi Dimensi Balok Induk.....	54
<b>Tabel 4. 2</b> Rekapitulasi Dimensi Balok Anak.....	55
<b>Tabel 4. 3</b> Penulangan Pelat.....	81
<b>Tabel 4. 4</b> Spesifikasi C300 Passenger Elevator.....	113
<b>Tabel 4. 5</b> Koefisien Situs Fa.....	127
<b>Tabel 4. 6</b> Koefisien Situs Fv .....	127
<b>Tabel 4. 7</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek .....	129
<b>Tabel 4. 8</b> Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik.....	129
<b>Tabel 4. 9</b> Modal rasio partisipasi massa .....	131
<b>Tabel 4. 10</b> Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	132
<b>Tabel 4. 11</b> Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung.....	133
<b>Tabel 4. 12</b> Modal Periode dan Frekuensi Struktur .....	133
<b>Tabel 4. 13</b> Reaksi Dasar Struktur .....	135
<b>Tabel 4. 14</b> Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa.....	135
<b>Tabel 4. 15</b> Batas Simpangan Gedung.....	137
<b>Tabel 4. 16</b> Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban .....	137
<b>Tabel 4. 17</b> Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X.....	138
<b>Tabel 4. 18</b> Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X.....	139
<b>Tabel 4. 19</b> Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y .....	140

<b>Tabel 4. 20</b> Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y .....	141
<b>Tabel 4. 21</b> Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur .....	142
<b>Tabel 4. 22</b> Perhitungan Mpr .....	157
<b>Tabel 4. 23</b> Rekap Vu sway .....	158
<b>Tabel 4. 24</b> Gaya dalam kolom .....	165
<b>Tabel 4. 25</b> Daya Dukung Tanah .....	198
<b>Tabel 4. 26</b> Harga-harga $N_c$ , $N_y$ , dan $N_q$ .....	211
<b>Tabel 4. 27</b> Rekap Gaya Dalam <i>Tie Beam</i> .....	212

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Gedung Stikes Anwar Medika merupakan bangunan 7 lantai yang terletak di jalan *By Pass* Krian Sidoarjo dan difungsikan sebagai bangunan sekolah. Gedung ini dibangun dengan metode pengecoran beton konvensional. Adapun bentuk bangunan merupakan bangunan setipikal dengan menggunakan *shearwall* sebagai dinding yang mampu menahan gaya lateral akibat gempa. Menurut peta gempa di Indonesia daerah Krian merupakan yang tergolong sebagai daerah yang tergolong sebagai daerah gempa wilayah 2.

Metode lain yang mungkin cocok digunakan dalam perancangan gedung ini adalah metode perancangan gedung menggunakan sistem beton pracetak. Metode pracetak merupakan metode konstruksi yang mempunyai banyak kelebihan dibanding dengan metode konvensional (Metode cor ditempat). Kelebihan-kelebihan dari metode pracetak antara lain yaitu waktu pelaksanaannya lebih singkat, sehingga bangunan dapat segera difungsikan. Modifikasi dilakukan dengan mengubah denah asli dan jumlah lantai dari 7 lantai menjadi 11 lantai. Perancangan struktur beton bangunan gedung ini akan direncanakan berdasarkan SNI 2847:2013. Analisa perhitungan beban gempa menggunakan SNI 1726:2012..

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, elemen beton pracetak dibuat setipikal dan menyeragamkan penggunaan tulangan. Sambungan pada elemen elemen pracetak menggunakan sambungan basah agar memperoleh perilaku mendekati monolit sesuai dengan SNI 03 1729 2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung.

Dalam penulisan tugas akhir ini akan dilakukan modifikasi struktur bangunan gedung yang awalnya menggunakan sistem beton konvensional menjadi sistem beton pracetak (studi kasus : Stikes Anwar Medika) dengan mengubah

denah asli dan ketinggian bangunan setelah modifikasi . Gedung Stikes Anwar Medika akan direncanakan menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah. Dengan demikian beban lateral 25% dipikul oleh rangka dan 75% dipikul oleh dinding geser.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Gedung Stikes Anwar Medika mencakup aspek perencanaan dan pelaksanaan dalam satu struktur. Dalam perancangan modifikasi struktur Gedung Stikes Anwar Medika menggunakan sistem beton pracetak terdapat beberapa permasalahan.

Permasalahan Utama

Bagaimana merancang struktur bangunan dengan menggunakan beton pracetak yang dapat menahan gaya gravitasi dan gaya lateral yang bekerja ?

Detail permasalahan

1. Bagaimana merancang elemen struktur beton pracetak untuk balok dan pelat?
2. Bagaimana merancang kolom dan dinding geser menggunakan metode beton konvensional ?
3. Bagaimana merencanakan sambungan pada beton pracetak ?
4. Bagaimana menuangkan hasil perencanaan dalam gambar teknik yang baik?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar Tugas Akhir ini dapat lebih fokus dan selesai sesuai dengan waktu yang direncanakan, maka diperlukan pembatasan pada perbandingan rancangan struktur gedung yang meliputi :

1. Peraturan yang digunakan sebagai acuan :
  - SNI 2847:2013 untuk struktur beton
  - SNI 1726:2012 untuk pembebanan gempa
  - SNI 03 1729 2002 untuk struktur baja..
2. Modifikasi yang dilakukan hanya pada pelat dan balok serta adanya penambahan lantai bangunan.



3. Perhitungan analisa struktur menggunakan program bantu SAP 2000.
4. Rancangan Anggaran Biaya tidak diperhitungkan.
5. Tidak memperhatikan segi arsitektural.
6. Penggambaran teknik menggunakan program bantu AutoCAD.
7. Tidak memperhitungkan detail pada gedung.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan utama dari penulisan tugas akhir ini adalah mampu merencanakan modifikasi gedung menggunakan beton pracetak yang memenuhi standar kekuatan dan keamanan. Adapun tujuan penunjang dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu merencanakan elemen struktur beton pracetak pada balok dan pelat.
2. Mampu merencanakan kolom dan dinding geser dengan metode konvensional.
3. Mampu merencanakan sambungan pada elemen struktur beton pracetak.
4. Mampu menuangkan hasil perencanaan dalam gambar teknik .

#### **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini bagi beberapa pihak, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bagi Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Kabupaten Sidoarjo, konsultan perencanaan, maupun kontraktor pelaksana Proyek Gedung Stikes Anwar Medika, sebagai evaluasi struktur perencanaan beton pracetak.
2. Bagi pembaca dan penulis dapat memahami konsep pelaksanaan dan perencanaan gedung dengan menggunakan beton pracetak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

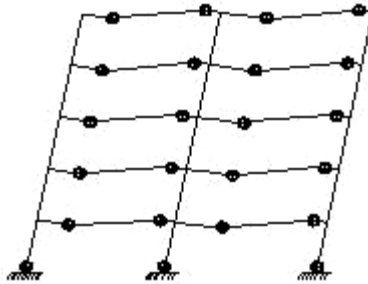
Menurut SNI 2847:2013, beton pracetak merupakan elemen beton struktur yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Dalam pembuatannya, beton pracetak hampir sama dengan beton konvensional hanya saja yang membedakannya adalah sistem fabrikasinya. Sistem yang tersebut mencakup kondisi pembebanan dan kekangan dari penggunaan awal sampai penggunaan akhir pada struktur, termasuk pembongkaran bekisting, penyimpanan, transportasi, dan ereksi.

#### **2.2 Sistem untuk Gedung**

Sistem yang digunakan untuk menahan gaya gravitasi dan gaya lateral pada konstruksi struktur gedung sangat banyak jenisnya tergantung di daerah mana kita akan membangunnya. Namun pada sub bab ini penulis akan menerangkan tentang sistem yang akan dipakai dalam perencanaan saja, yaitu :

##### **2.2.1 Sistem Pemikul Rangka**

Sistem struktur yang pada dasarnya mempunyai kemampuan memikul beban gravitasi melalui ruang pemikul momen dan beban lateral yang disebabkan oleh gempa melalui mekanisme lentur. Sistem ini dibagi menjadi 3, yaitu SRPMB (Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa), SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah), dan SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus). Kapasitas disain dalam rangka penahan momen khusus konsep “kolom kuat balok lemah” digunakan untuk memastikan tidak terjadinya sendi plastis pada kolom selama gempa terjadi. Konsep mekanis keruntuhan ini disebut mekanisme pergoyangan balok ( beam side sway mekanisme), lihat gambar 2.1.



**Gambar 2. 1** *Beam Side Way Mechanism*

### **2.2.2 Dinding Geser**

Dinding geser adalah jenis struktur dinding yang berbentuk beton bertulang yang biasanya dirancang untuk menahan geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut.

### **2.2.3 Sistem Ganda**

Sistem ganda adalah sistem struktur yang terdiri dari rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi. Pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka bresing dengan rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah. Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Kedua sistem ini harus direncanakan untuk memikul seluruh beban lateral dengan memperhatikan siteraksi sistem struktur.

## **2.3 Sistem Pracetak**

### **2.3.1 Sistem Struktur Pracetak Bresphaka**

Bresphaka adalah suatu rekayasa konstruksi gedung dengan sistem struktur pracetak model open frame yang terdiri dari elemen pracetak kolom, balok, lantai, dinding, tangga dan

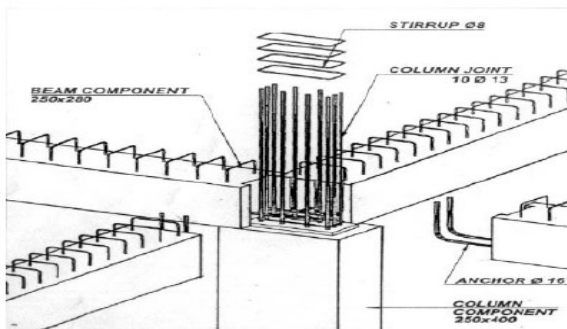
elemen lainnya, dengan penggunaan bahan beton ringan atau beton normal atau kombinasi keduanya.

a. Model struktur

- 1) Bersifat rangka terbuka, bentuk penampang elemen struktur sesuai dengan desain dimodelkan dalam perhitungan program struktur.
- 2) Sambungan utama di titik kumpul dan direncanakan bersifat daktail penuh
- 3) Perencanaan memperhatikan “*stress control*”, pemodelan ditumpu dengan perletakkan (*restraints*) pada kondisi beban pelaksanaan struktur.

b. Perencanaan sambungan

- 1) “Shear connector” pada balok, untuk menyatukan komponen balok dan plat
- 2) “Shear key” pada plat, diterapkan khusus daerah gempa agar plat dapat membentuk diafragma kaku.
- 3) Angkur balok pracetak ke joint, agar keruntuhan/sendi plastis tidak terjadi di perbatasan balok joint.
- 4) Angkur kolom, untuk transfer gaya dari kolom atas ke kolom bawah



**Gambar 2. 2** Sistem Struktur Pracetak Brephaska (Pertemuan Kolom-Balok)

- c. Kelebihan dari sistem struktur pracetak jenis ini adalah :
- 1) Sistem BRESPHAKA dengan bahan beton mutu tinggi, selain akan memperkecil dimensi struktur/volume beton, juga akan mengurangi berat masa bangunan sehingga dimensi pondasi lebih kecil.
  - 2) Produktivitas tenaga kerja lebih tinggi, sehingga adanya efisiensi biaya yang menjadikan proyek jadi lebih hemat.
  - 3) Kontrol kualitas sistem pabrikasi lebih terjamin.
  - 4) Akurasi ukuran dari elemen bresphaka, menjamin pemasangan di lapangan lebih presisi dan hasil kerja lebih rapi.
  - 5) Efisiensi terhadap waktu pelaksanaan.

## 2.4 Data Perencanaan

Data-data perencanaan secara keseluruhan mencakup data umum bangunan, data bahan dan data tanah.

### 1. Data Umum Bangunan:

- Nama Proyek : Stikes Anwar Medika
- Lokasi Proyek : Jl. *By Pass* Krian
- Jenis Pekerjaan : Struktur, Arsitektur, Mekanikal, dan Elektrikal
- Luas Bangunan : 4400  $m^2$
- Jumlah Lantai : 7 lantai + atap
- Tinggi Bangunan : 29,10 m
- Struktur Bangunan : Beton Bertulang

### 2. Data Gambar:

- Data Struktur : (Terlampir)
- Data arsitektur : (Terlampir)

Bangunan gedung tersebut akan dimodifikasi menggunakan metode beton pracetak dan data bangunan yang direncanakan sebagai berikut:

### 1. Data Umum Bangunan:

- Nama gedung : Stikes Anwar Medika
- Lokasi : Jl. *By Pass* Krian

- Jenis Pekerjaan : Struktur
- Luas Bangunan :  $4400 \text{ m}^2$
- Jumlah Lantai : 11 lantai
- Tinggi Bangunan : 44 m
- Struktur Bangunan : Beton Pracetak

2. Data Material:

- Mutu beton ( $f'c$ ) : 30 Mpa
- Mutu Baja ( $f_y$ ) : 400 Mpa

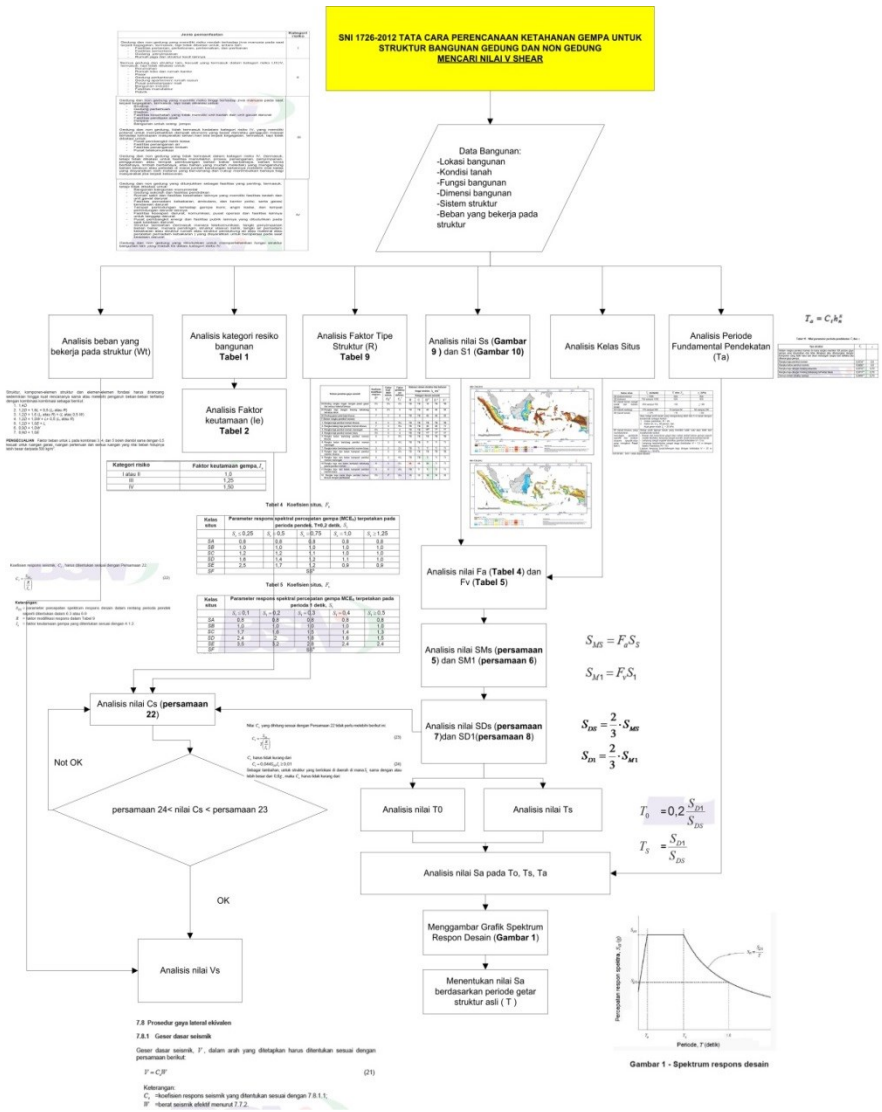
3. Data Gambar:

- Data Struktur : (Terlampir)
- Data arsitektur : (Terlampir)

## 2.5 Penentuan Kriteria Desain

Pada penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan aplikasi respon spectral dari puskim.pu.go.id .Struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_1$ , lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori resiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Namun untuk lebih mengerti lagi penentuan desain dapat dilihat pada gambar diagram alur berdasarkan SNI 1726:2012 tentang tata cara perhitungan struktur bangunan tahan gempa pada flowchart dibawah ini.



**Gambar 2. 3** Penentuan desain spectral sesuai SNI 1726:2012



Bangunan ini direncanakan akan dibangun di Krian dengan kelas situs SB (Batuan). Berdasarkan aplikasi respon spektral dari puskim.pu.go.id mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda pendek,  $S_{DS} = 1$  dan parameter percepatan respon spektral pada perioda 1 detik,  $S_{D1} = 0,6$ . Berdasarkan tabel 3.1 dan tabel 3.2 maka didapatkan daerah Krian mempunyai kategori desain seismik D.

**Tabel 2. 1** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 2. 2** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726 2012 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

## 2.6 Preliminary Design

Pada preliminary design ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya.

### 2.6.1 Perencanaan Dimensi Kolom

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.3.2.2 aksial tekan dan aksial tekan dengan lentur untuk komponen struktur dengan tulangan sengkang biasa, maka faktor reduksi  $\phi = 0,65$ .

$$A = \frac{W}{\phi \times f_c'}$$

(2-1)

Dimana,  $W$  = Beban aksial yang diterima kolom  
 $f_c'$  = Kuat tekan beton karakteristik  
 $A$  = Luas penampang kolom

### 2.6.2 Perencanaan Dimensi Balok Induk

Tabel minimum balok non-prategang apabila nilai lendutan tidak dihitung dapat dilihat pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.1 tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \quad \text{digunakan apabila } f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) \quad \text{digunakan untuk } f_y \text{ selain } 420 \text{ Mpa}$$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} (1,65 - 0,003 w_c) \quad \text{digunakan untuk nilai } w_c \text{ 1440 sampai 1840 kg/m}^3$$

Dimana:

$b$  = Lebar balok

$h$  = Tinggi balok

$L$  = Panjang balok

## 2.7 Perhitungan Struktur Sekunder

### 2.7.1 Penentuan Dimensi Pelat

Dalam menentukan dimensi pelat langkah-langkah perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan terlebih dahulu apakah pelat tergolong pelat satu arah (*One-way slab*) atau pelat dua arah (*two-way slab*).
2. Tebal minimum pelat satu arah (*One-way slab*) menggunakan rumus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.1 (tabel 9.5(a)). Sedangkan untuk pelat dua arah menggunakan rumus sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.1
3. Dimensi pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya harus memenuhi:
  - a) Untuk  $\alpha_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 2847 : 2013 pasal 9.5.3.2
    1. Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm
    2. Tebal pelat dengan penebalan 100 mm
  - b) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta (\alpha_m - 0,2)} \quad (2-2)$$

(SNI 2847:2013 persamaan 9-12)

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- c) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (2-3)$$

(SNI 2847:2013, persamaan 9-13)

dan tidak boleh kurang dari 90 mm.

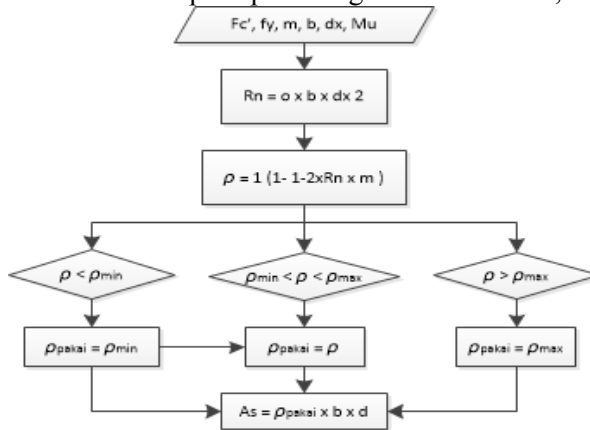
dimana:

$\beta$  = rasio dimensi panjang terhadap pendek

$\alpha_m$  = nilai rata - rata dari  $\alpha_f$  untuk semua balok pada tepi dari suatu panel

### 2.7.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Pelat

Pada setiap penampang komponen struktur lentur dimana tulangan tarik diperlukan oleh analisis seperti pada diagram dibawah ini,



**Gambar 2. 4**Diagram alir perhitungan penulangan komponen lentur

### 2.7.1.2 Pehitungan Tulangan Susut

Kebutuhan tulangan susut di atur dalam SNI 2847:2013 Pasal 7.12.2.1

### 2.7.1.3 Kontrol retak

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 14.8.2.4 tulangan dari komponen struktur harus memberikan kekuatan desain

$$\phi M_n \leq M_{cr}$$

(2-4)

dimana  $M_{cr}$  harus diperoleh menggunakan modulus hancur,  $f_r$ , yang diberikan pada SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2

$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

(2-5)

dan

$$f_r = 0,62 \lambda \sqrt{f_c'}$$

(2-6)

dimana:

$M_{cr}$  = momen retak

$f_r$  = modulus hancur beton

$I_g$  = momen inersia penampang beton bruto

$y_t$  = jarak dari sumbu pusat penampang bruto ke muka Tarik

$\lambda$  = factor modifikasi ( $\lambda = 1,0$  untuk beton berat normal)

### 2.7.2 Perencanaan Balok Anak

Untuk penentuan dimensi balok anak perhitungan sama dengan perhitungan balok induk. Beban pelat yang diteruskan ke balok anak dihitung sebagai beban trapesium, segitiga dan dua segitiga. Beban ekivalen ini selanjutnya akan digunakan untuk menghitung gaya-gaya dalam yang terjadi di balok anak untuk menentukan tulangan lentur dan geser (perhitungan tulangan longitudinal sama dengan pelat).

### 2.7.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan desain awal tangga mencari lebar dan tinggi injakan.

$$60 \text{ cm} \leq 2t + i \leq 65 \text{ cm}$$

(2-7)

Dimana :

$t$  = tinggi injakan

$i$  = lebar injakan

$\alpha$  = sudut kemiringan tangga ( $25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$ )

Untuk penulangan tangga, perhitungan penulangan bordes dan pelat dasar tangga dilakukan sama dengan perencanaan tulangan pelat dengan anggapan tumpuan sederhana (sendi dan rol). Perencanaan tebal tangga ditentukan sesuai ketentuan dalam perhitungan dimensi awal pelat.

#### **2.7.4 Perencanaan Lift**

Lift merupakan alat transportasi manusia dalam gedung dan satu tingkat ke tingkat lain. Perencanaan lift disesuaikan dengan pemikiran jumlah lantai dan perkiraan jumlah pengguna lift. Dalam perencanaan lift, metode perhitungan yang dilakukan merupakan analisis terhadap konstruksi ruang tempat lift dan balok penggantung katrol lift.

Ruang landasan diberi kelonggaran (lift pit) supaya pada saat lift mencapai lantai paling bawah, lift tidak menumbuk dasar landasan, disamping berfungsi pula menahan lift apabila terjadi kecelakaan, misalnya tali putus. Perencanaan ini mencakup perencanaan balok penumpu depan, penumpu belakang, dan balok penggantung lift.

#### **2.7.5 Pembebanan**

Dalam melakukan analisa desain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku dan besar beban yang bekerja pada struktur. Perilaku suatu struktur sangat dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja padanya. Beban yang bekerja pada suatu struktur ada beberapa jenis menurut karakteristik, yaitu beban statis dan beban dinamis. Berikut ini akan menjelaskan lebih detail mengenai pembebanan sesuai dengan ketentuan berdasarkan SNI 1726:2012, SNI 2847:2013 dan PPIUG 1983.

##### **2.7.5.1 Beban Statis**

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada struktur dan juga yang diasosiasikan timbul secara perlahan-lahan, dan mempunyai karakter steady-states yaitu

bersifat tetap. Jenis-jenis beban statis menurut Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 adalah sebagai berikut.

a. Beban Mati

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja vertikal ke bawah pada struktur dan mempunyai karakteristik bangunan, seperti misalnya penutup lantai, alat mekanis, dan partisi yang dapat dipindahkan. Beban mati yang digunakan pada perancangan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) yang tertera pada Tabel 2.3.

**Tabel 2. 3** Beban mati pada struktur

Beban Mati	Besar Beban
Batu Alam	2600 kg/m <sup>2</sup>
Beton Bertulang	2400 kg/m <sup>2</sup>
Dinding Pasangan ½ Bata	250 kg/m <sup>2</sup>
Kaca Setebal 12 mm	30 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit + Penggantung	18 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ubin Semen Portland	24 kg/m <sup>2</sup>
Spesi per cm tebal	21 kg/m <sup>2</sup>

(sumber: PPIUG 1983)

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban-beban yang bisa ada atau tidak ada pada struktur untuk suatu waktu yang diberikan. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat berpindah atau bergerak. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi kadang – kadang dapat berarah horizontal. Beban hidup diperhitungkan berdasarkan pendekatan matematis dan menurut kebiasaan yang berlaku pada pelaksanaan konstruksi di Indonesia. Untuk menentukan secara pasti beban hidup yang bekerja pada suatu lantai bangunan sangatlah sulit, dikarenakan fluktuasi beban hidup bervariasi, tergantung dan banyak faktor. Oleh karena itu,

faktor beban – beban hidup lebih besar dibandingkan dengan beban mati. Peraturan yang digunakan dalam perancangan beban hidup pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) Tabel 2.4.

**Tabel 2. 4** Beban hidup pada struktur

Beban Hidup	Besar Beban
Lantai Perkantoran / Restoran	250 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ruang-ruang Balkon	400 kg/m <sup>2</sup>
Tangga dan Bordes	300 kg/m <sup>2</sup>
Lantai Ruang Alat dan Mesin	400 kg/m <sup>2</sup>
Beban Pekerja	100 kg/m <sup>2</sup>

(sumber: PPIUG 1983)

### 2.7.5.2 Beban Gempa

Beban gempa berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726:2012). Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh frame. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Perencanaan Beban Gempa pada struktur menggunakan metode diafragma, dimana pengaruh pada struktur dibebankan langsung kepusat massa bangunan (*center of mass*). Gaya geser dasar akibat gempa diperoleh dengan mengalikan berat gedung dengan faktor-faktor modifikasi sesuai dengan peraturan pembebanan yang ada.

Analisa beban gempa bedasarkan SNI 1726:2012 meliputi:

- Penentuan respon spektrum

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada gambar 9 dan 10 SNI 1726:2012.



- Respon seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{7}\right)} \quad (2-8)$$

(Persamaan 7.8-2 SNI 1726:2012)

Dimana:

$S_{DS}$  = percepatan spektrum respons disain dalam rentan periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons dalam tabel 7.2-1 (SNI 1726:2012)

$I_e$  = faktor keutamaan hunian yang ditentukan sesuai dengan Tabel 6.4

nilai  $C_s$  max tidak lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2-9)$$

- Gaya geser dasar dan gaya seismik lateral

$$V = C_s \times W$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2-10)$$

dimana:

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1

$W$  = berat seismik efektif menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.7.2

### 2.7.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 9.2.1

- 1)  $U = 1,4 D$
- 2)  $U = 1,2 D + 1,6 L$
- 3)  $U = 1,2 D + 1,0 L \pm 1,0 E$
- 4)  $U = 1,0 D + 1,0 L$

$$5) U = 0,9 D \pm 1,0 E$$

Dimana:

U = beban ultimate

D = beban mati

L = beban hidup

E = beban gempa

## 2.8 Permodelan dan Analisa Struktur

Permodelan dan analisa struktur dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur akibat pembebanan, baik beban gravitasi maupun beban lateral. Output dari permodelan ini antara lain untuk mengetahui perilaku struktur secara keseluruhan dan perilaku komponen struktur. Perilaku struktur secara keseluruhan antara lain: partisipasi massa harus memenuhi, simpangan per lantai harus memenuhi, serta gaya geser gempa harus mendekati total reaksi horizontal di perletakan. Sedangkan perilaku komponen struktur meliputi komponen kolom dan balok yang ditinjau dari gaya dalam yang didapat dari permodelan struktur. Gaya dalam pada kolom yang perlu diperhatikan antara lain aksial, momen arah x dan y, torsi, geser. Gaya dalam pada balok antara lain momen, geser dan torsi.

Permodelan dan analisa struktur dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000 dengan langkah-langkah permodelan sebagai berikut: Menggambar permodelan struktur, mendesain material dan penampang, memasukkan beban gravitasi dan beban lateral, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan running, setelah itu dilakukan pengecekan apakah struktur tersebut sesuai dengan persyaratan atau tidak.

## 2.9 Perhitungan Struktur Utama

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur

ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

## 2.9.1 Perencanaan Balok Induk

### 2.9.1.1 Perhitungan Tulangan Lentur Balok

Tahapan yang digunakan dalam menentukan tulangan lentur balok adalah sebagai berikut:

1. Menentukan data-data  $d$ ,  $f_y$ ,  $f'_c$ , dan  $b$
2. Menentukan harga  $\beta_1$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \frac{(f'_c - 28)}{7} \quad (2-11)$$

SNI 2847:2013 pasal (10.2.7.3)

3. Menentukan batasan harga tulangan dengan menggunakan rasio tulangan yang disyaratkan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (2-12)$$

SNI 2847:2013 lampiran B (8.4.2)

$$A_{s \min} = \frac{0.25x\sqrt{f'_c}}{f_y} b w x d \quad (2-13)$$

SNI 2847:2013 pasal (10.5.1)

$$A_{s \min} > b w x d \frac{1.4}{f_y} \quad (2-14)$$

SNI 2847:2013 pasal (10.5.1)

Dari kedua harga  $A_{s \min}$  tersebut, diambil harga yang terbesar sebagai yang menentukan.

$$4. \text{ Jumlah tulangan} = \frac{A_{spertu}}{1/4 \times \pi \times \emptyset^2} \quad (2-15)$$

$$5. \text{ Tegangan tulangan (fs)} = \frac{2}{3} f_y \quad (2-16)$$

SNI 2847:2013 pasal (10.6.4)

$$6. \text{ Jarak tulangan} = 380 \frac{280}{f_s} - 2.5 C_c \quad (2-17)$$

SNI 2847:2013 pasal (10.6.4)

Dimana  $C_c$  = jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

### 2.9.1.2 Perhitungan Tulangan Geser Balok

Perencanaan penampang geser harus didasarkan sesuai SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-1 yaitu harus memenuhi  $\Phi V_n \geq V_u$ ,

dimana:

$V_n$  = kuat geser nominal penampang

$V_u$  = kuat geser terfaktor pada penampang

$\Phi$  = reduksi kekuatan untuk geser = 0,75

Kuat geser nominal dari penampang merupakan sumbangan kuat geser beton ( $V_c$ ) dan tulangan ( $V_s$ )

$$V_n = V_c + V_s \quad (2-18)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.1.1 persamaan 11-2

Dan untuk

$$V_c = 0,17 \alpha \sqrt{f_c'} b_w d \quad (2-19)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1 persamaan 11-3

Perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (2-20)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.1

dimana:

$V_u$  = geser terfaktor pada penampang yang ditinjau

$V_n$  = Kuat geser nominal

$V_c$  = Kuat geser beton

$V_s$  = Kuat geser nominal tulangan geser

### 2.9.1.3 Kontrol Torsi

Pengaruh torsi harus diperhitungkan apabila:

$$T_u = \frac{\phi \sqrt{f_c'} }{12} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}^2} \right) \quad (2-21)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1

Perencanaan penampang terhadap torsi:

$$T_u \geq \phi T_n \quad (2-22)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5 pers.11-20

Tulangan sengkang untuk puntir:

$$T_u = \frac{2A_o A_t f_y}{s} \cot \theta \quad (2-23)$$

SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.6 pers.11-21

Dimana:

$T_u$  = Momen torsi terfaktor

$T_n$  = Kuat momen torsi

$T_c$  = Kuat torsi nominal yang disumbang oleh beton

$T_s$  = Kuat momen torsi nominal tulangan geser

$A_0$  = Luas yang dibatasi oleh lintasan aliran geser  $\text{mm}^2$

## 2.9.2 Perencanaan Kolom

Detail penulangan kolom akibat beban aksial tekan harus sesuai SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5.1. Sedangkan untuk perhitungan tulangan geser harus sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 23.5.1.

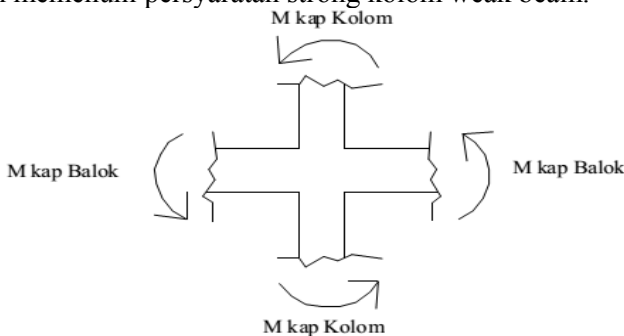
### 2.9.2.1 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (2-24)$$

SNI 2847:2013 pasal 21.6.2

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan strong kolom weak beam.



**Gambar 2. 5** Ilustrasi kuat momen yang bertemu di HBK

## 2.9.2 Perencanaan Struktur Dinding Geser

### 2.9.2.1 Kuat Aksial Rencana

Kuat aksial rencana dihitung berdasarkan (SNI 2847:2013 pasal 14.5.2)

$$\phi P_n = 0,55 \phi f_c' A_g \left[ 1 - \left( \frac{k l_c}{32 h} \right)^2 \right] \quad (2-25)$$

SNI 2847:2013 pasal 14.5.2

### 2.9.2.2 Pemeriksaan Tebal Dinding

Tebal dinding dianggap cukup bila dihitung memenuhi (SNI 03-2847-2013, pasal 11.9.3)

$$0,83 \sqrt{f_c'} h d \geq V_u \quad (2-26)$$

SNI 2847:2013, pasal 11.9.3

Dimana:

$d = 0,8 I_w$

### 2.9.2.3 Kuat Geser Beton

Dihitung Menurut SNI 2847:2013, pasal 11.9.6.

### 2.9.2.4 Keperluan Penulangan Geser

Penulangan geser dihitung berdasarkan (SNI 2847:2013, pasal 21.9.2.2)

### 2.9.2.5 Penulangan Geser Horisontal

Dihitung berdasarkan pada (SNI 2847:2013, pasal 11.9.9)

### 2.9.2.6 Penulangan Geser Vertikal

Dihitung berdasarkan SNI 2847:2013, pasal 11.9.9.4

## 2.10 Perencanaan Sambungan

Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban

gempa, mengingat Indonesia merupakan daerah dengan intensitas gempa yang cukup besar. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit (*cast in place emulation*).

Dengan metode konstruksi semi pracetak, yaitu elemen pracetak dengan tuangan beton *cast in place* di atasnya, maka diharapkan sambungan elemen-elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Untuk menjamin kekakuan dan kekuatan pada detail sambungan ini memang butuh penelitian mengenai perilaku sambungan tersebut terhadap beban gempa. Berdasarkan beberapa referensi hasil penelitian yang dimuat dalam PCI Journal, ada rekomendasi pendetailan sambungan elemen pracetak dibuat dalam kondisi daktail sesuai dengan konsep desain kapasitas strong coloumn weak beam.

Dalam perencanaan sambungan pracetak, gaya – gaya disalurkan dengan cara menggunakan sambungan grouting, kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, pelapisan dengan beton bertulang cor setempat, atau kombuinasi cara – cara tersebut. Dalam penulisan tugas akhir ini digunakan sambungan dengan pelapisan beton bertulang cor setempat.

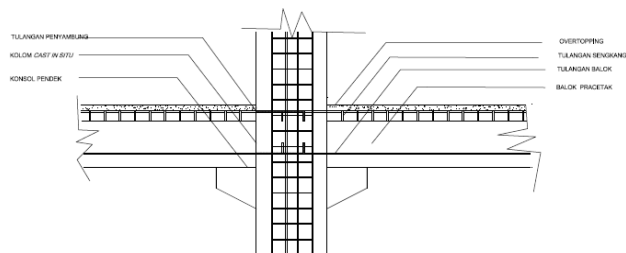
### **2.10.1 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Kolom**

Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau monolit. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarken dengan amplitudo 5 mm.

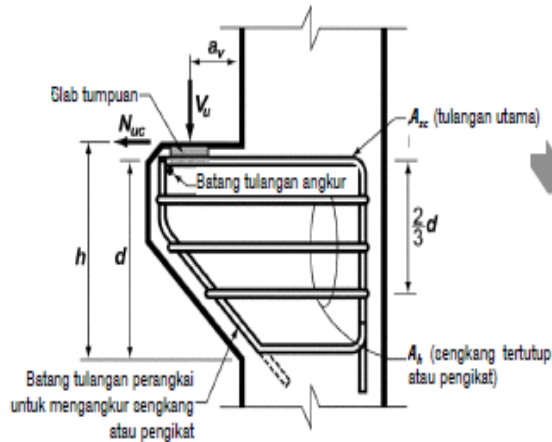


- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 2847:2013 pasal 7.13, yaitu tulangan menerus atau pemberian kait standar pada sambungan ujung.
- Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak dan kolom untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



**Gambar 2. 6** Sambungan balok dengan kolom

Pada perancangan sambungan balok dan kolom ini menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakkan pada konsol pendek pada kolom kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 11.8 mengenai ketentuan khusus untuk konsol pendek.

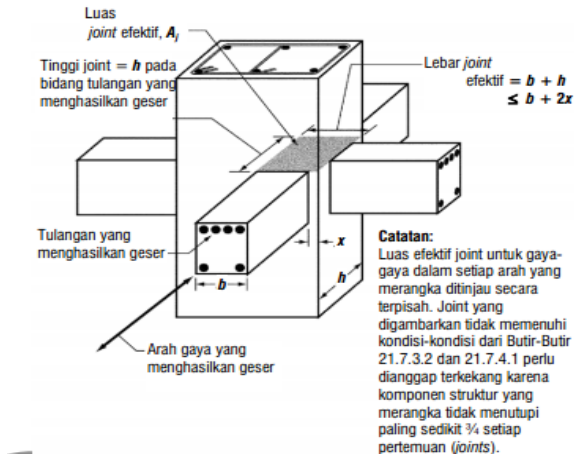


**Gambar 2. 7** Parameter geometri konsol pendek

(Sumber: SNI 2847:2013)

Untuk pemakaian sambungan monolit, harus dipenuhi semua kriteria untuk struktur beton bertulang yang monolit, yaitu kekuatan, kelakuan, daktilitas, dst. Sementara bila sambungan kuat yang akan dipakai, harus diyakinkan akan berlangsungnya mekanisme kolom kuat-balok lemah. Pada sambungan balok-kolom harus didesain terjadinya pelelehan lentur di dalam sambungan, sementara pada sambungan kuat pelelehan harus terbentuk di luar sambungan, yaitu paling tidak pada jarak setengah tinggi balok di luar muka kolom. Selanjutnya, baik sambungan balok-kolom daktail maupun kuat harus memenuhi semua persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.8

Kuat geser nominal,  $V_n$  pada daerah hubungan balok-kolom tidak boleh melebihi nilai yang disebutkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.7.4



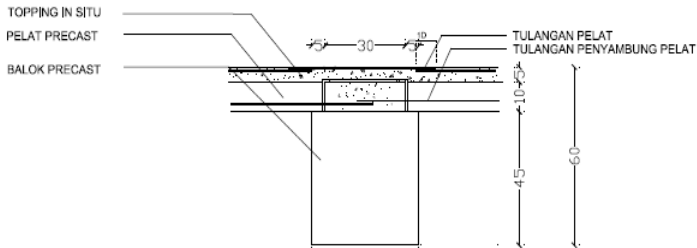
**Gambar 2. 8 Hubungan Balok Kolom**

(Sumber: SNI 2847:2013)

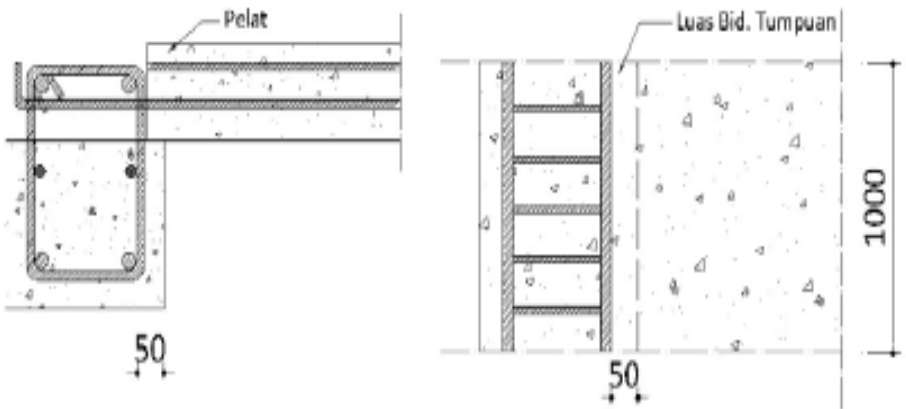
### 2.10.2 Perencanaan Sambungan Balok Pracetak Dengan Pelat Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada pelat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Sambungan balok induk pracetak dengan pelat pracetak menggunakan sambungan basah yang diberi overtopping yang umumnya digunakan 50 mm – 100 mm
- Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan pelat pracetak dan beton pracetak dikasarkan dengan amplitudo 5 mm.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan, sesuai dengan aturan yang diberikan dalam SNI 2847:2013 pasal 7.13.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.



**Gambar 2. 9** Sambungan Antara Balok dengan Pelat



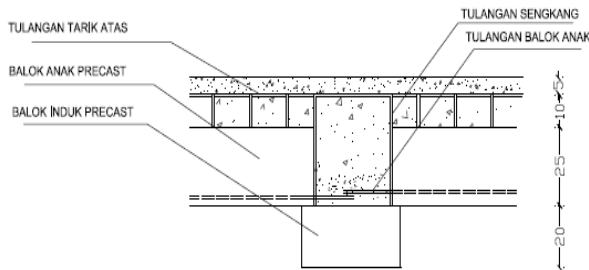
**Gambar 2. 10** Sambungan Balok dan Pelat pada Tumpuan

### 2.10.3 Perencanaan Sambungan Balok Induk dengan Balok Anak

Balok anak diletakkan menumpu pada tepi balok induk dengan ketentuan panjang landasan adalah sedikitnya  $1/180$  kali bentang bersih komponen plat pracetak, tapi tidak boleh kurang dari 75 mm. Untuk membuat integritas struktur, maka tulangan utama balok anak baik yang tulangan atas maupun bawah dibuat menerus atau dengan kait standar yang pendetailannya sesuai

dengan aturan SK SNI 2847:2013 pasal 7.10. Untuk menghasilkan sambungan dengan kekakuan yang relatif sama dengan beton cor di tempat, dapat dilakukan beberapa hal berikut ini.

1. Kombinasi dengan beton cor di tempat (topping), dimana permukaan balok pracetak dan kolom dikasarken dengan amplitudo 5 mm.
2. Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan.
3. Pemasangan dowel dan pemberian grouting pada tumpuan atau bidang kontak antara balok pracetak untuk mengantisipasi gaya lateral yang bekerja pada struktur.



**Gambar 2. 11** Sambungan balok induk dengan balok anak

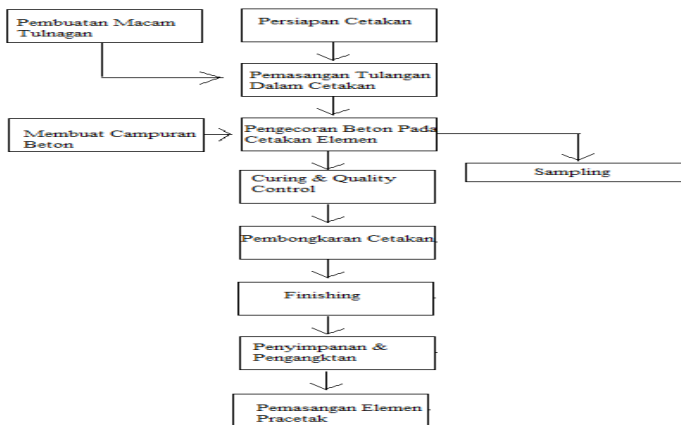
## **2.11 Tinjauan Elemen Pracetak**

### **2.11.1 Proses Produksi Elemen Beton Pracetak**

Setelah pelaksanaan pengecoran, pada beton pracetak dilakukan curing untuk menghindari penguapan air semen secara drastis sehingga mutu beton yang direncanakan terpenuhi. Pembukaan bekisting dilakukan setelah kekuatan beton antara 20%–60% dari kekuatan akhir yang dapat tercapai, kurang lebih umur 3–7 hari pada suhu kamar. Adapun syarat dari cetakan elemen beton pracetak adalah :

1. Volume dari cetakan stabil untuk percetakan berulang
2. Mudah ditangani dan tidak bocor
3. Mudah untuk dipindahkan, khusus untuk pelaksanaan pengecoran di lapangan/proyek.

Setelah pembongkaran bekisting, dilakukan finishing elemen beton pracetak. Secara skematis proses produksi elemen beton pracetak mulai dari persiapan untuk cetakan sampai pada penyimpanan elemen beton pracetak dapat dijelaskan seperti pada gambar.



**Gambar 2. 12** Diagram Alir Fabrikasi Elemen Pracetak

## 2.12 Pengangkatan Elemen Pracetak

### 2.12.1 Pengangkatan Pelat Pracetak

Pemasangan pelat pracetak harus diperhatikan bahwa pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu perencanaan terhadap tulangan angkat untuk pelat dengan tujuan untuk menghindari tegangan yang disebabkan oleh fleksibilitas dari truk pengangkut dalam perjalanan menuju lokasi proyek. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya momen-momen pada elemen pracetak. Pada saat pengangkatan elemen pracetak, dapat menggunakan bantuan balok angkat yang berfungsi untuk

menyeimbangkan elemen pracetak pada saat pengangkatan. Jenis titik angkat pada pelat tersebut dijelaskan berikut ini:

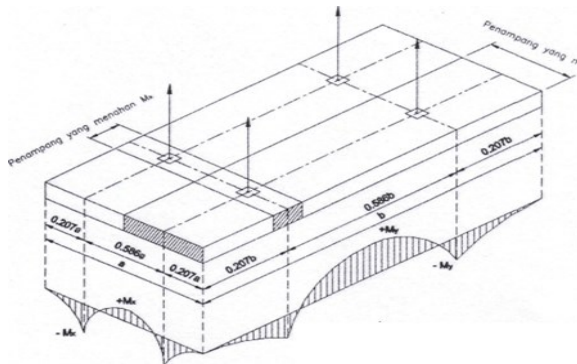
a. Empat Titik Angkat

Maksimum Momen (pendekatan):

$$+M_x = -M_y = 0,0107 w a^2 b$$

$$+M_y = -M_x = 0,0107 w a b^2$$

- $M_x$  ditahan oleh penampang dengan lebar yang terkecil dari  $15t$  atau  $b/2$
- $M_y$  ditahan oleh penampang dengan lebar  $a/2$

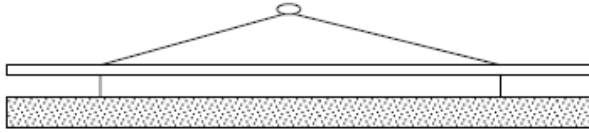


**Gambar 2. 13** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

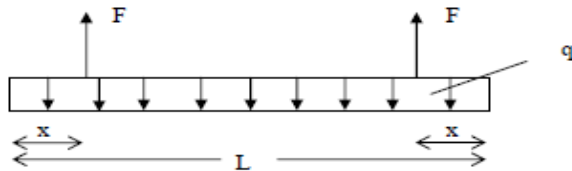
### 2.12.2 Pengangkatan Balok Pracetak

Kondisi pertama adalah saat pengangkatan balok pracetak untuk dipasang pada tumpuannya. Pada kondisi ini beban yang bekerja adalah berat sendiri balok pracetak yang ditumpu oleh angkur pengangkatan yang menyebabkan terjadinya momen pada tengah bentang dan pada tumpuan. Ada dua hal yang harus ditinjau dalam kondisi ini, yaitu kekuatan angkur pengangkatan (*lifting anchor*) dan kekuatan lentur penampang beton pracetak.



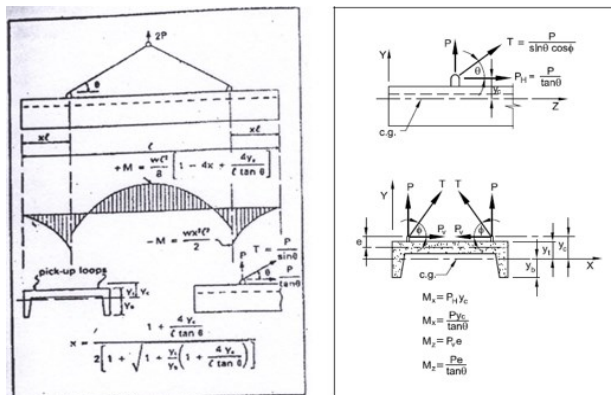
**Gambar 2. 14** Pengangkatan balok pracetak

(Sumber: Kalingga, 2015)



**Gambar 2. 15** Model pembebanan balok pracetak saat pengangkatan

Balok pracetak harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok dari kerusakan. Titik pengangkatan balok dapat dilihat pada Gambar 2.22 sebagai berikut:



**Gambar 2. 16** Titik-titik angkat dan sokongan sementara untuk produk pracetak balok



(Sumber: PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete 6<sup>th</sup> Edition, gambar 5.3.2.2)

Pada waktu proses pengangkatan balok pracetak diperlukan perhitungan gaya pengangkatan yang terjadi akibat berat sendiri balok. Kemudian gaya yang terjadi tersebut dikalikan dengan angka pengali beban statis ekuivalen yang terdapat pada Tabel 2.2 guna menghindari kerusakan pada balok pada waktu proses pengangkatan tersebut.

**Tabel 2. 5** Angka pengali beban statis ekuivalen untuk menghitung gaya pengangkatan dan gaya dinamis

Pengangkatan dari bekisting	1,7
Pengangkatan ke tempat penyimpanan	1,2
Transportasi	1,5
Pemasangan	1,2

### 2.13 Proses Pemasangan Elemen Beton Pracetak

Secara garis besar tahapan pelaksanaan di lapangan adalah sebagai berikut :

1. Pekerjaan elemen kolom
2. Pemasangan elemen balok
3. Pemasangan elemen tangga
4. Pemasangan tulangan stud pada pelat
5. Pengecoran sambungan antar elemen pracetak dan overtopping

Keberhasilan pelaksanaan metode pracetak tergantung pada organisasi pelaksanaan, koordinasi yang baik, teknikal skill personil yang terlibat, kerjasama yang baik dan kontrol yang baik dalam organisasi tersebut.

#### 2.13.1 Pekerjaan Elemen Kolom

Adapun langkah-langkah pekerjaan kolom sebagai berikut :

1. Pekerjaan dilakukan setelah pengecoran poer dan sloof

2. Penulangan kolom
3. Pekerjaan bekisting kolom dipasang setelah tulangan geser dipasang, selanjutnya adalah semua tulangan terpasang dilakukan pengecoran.

### **2.13.2 Pekerjaan Elemen Balok Pracetak**

Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu baru kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Diperlukan peralatan crane untuk membantu menunjang balok pracetak. Kemudian dapat dilanjutkan dengan pemasangan tulang utama pada balok yaitu tulangan tarik pada tumpuan. Lalu setelah tulangan terpasang baru dilakukan pengecoran.

### **2.13.3 Pekerjaan Tangga**

Pekerjaan tangga dilakukan setelah pengecoran overtopping balok. Kemudian barulah dilaksanakan penulangan, pembekistingan, dan pengecoran.

### **2.13.4 Pemasangan Elemen Pelat Pracetak**

Adapun langkah-langkah pemasangan elemen pelat pracetak sebagai berikut :

1. Pemasangan elemen pelat pracetak dipasang setelah balok pracetak terpasang.
2. Penulangan pelat meliputi tulangan lentur dan tulangan stud pelat
3. Pengecoran overtopping setebal 6,5 cm
4. Alat yang dipergunakan adalah crane untuk mengangkat elemen pelat pracetak .

## **2.14 Transportasi Elemen Beton Pracetak**

### **2.14.1 Sistem Transportasi**

Sistem transportasi di sini meliputi :

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek

3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Pemilihan jenis, ukuran dan kapasitas alat angkut dan angkat seperti truk, mobile crane dan tower crane akan sangat mempengaruhi ukuran komponen beton pracetaknya. Untuk tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem atau tempel. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar  $2,4\text{m} \times 16\text{m}$  atau  $2,4\text{m} \times 18\text{m}$  dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Kendala yang dipertimbangkan dalam pemilihan jenis truk adalah kondisi jalan yang akan dilalui meliputi kekuatan jalan, lebar jalan, fasilitas untuk menikung/memutar dan lain-lain. Di areal pabrikasi dan lokasi proyek juga diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak yang biasa mempergunakan mobile crane, rail crane, granty atau tower crane. Tersedianya alat angkat ini juga akan mempengaruhi ukuran dari komponen beton pracetaknya.

#### **2.14.2 Jadwal Pengangkutan Elemen Beton Pracetak**

Dalam jadwal pengangkutan/pemindahan perlu dipertimbangkan beberapa hal-hal sebagai berikut :

1. Ijin penggunaan jalan utama untuk mobil jenis truk yang diperbolehkan untuk dilewati ke areal proyek.
2. Tersedianya peralatan angkat mobile crane atau tower crane yang siap pakai untuk menurunkan/ menaikkan komponen beton pracetak dari dan ke alat angkut baik di areal pabrik maupun di lokasi proyek.

#### **2.15 Perencanaan Pondasi**

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut

- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam.

Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes sondir.

Nilai Konus diambil 4 D keatas & 4 D kebawah

$$P \text{ ijin 1 tiang} = \frac{A \text{ tiang} \times Cn}{Sf_1} + \frac{JHP \times Q}{Sf_2} \quad (2-27)$$

$$Sf_1 = (2 - 3)$$

$$Sf_2 = (5 - 8)$$

### 2.15.1 Kebutuhan Tiang Pancang

Jumlah tiang pancang yang dibutuhkan

$$n = \frac{\sum P}{P_{ijin}} \quad (2-28)$$

$$S \geq \frac{1,57(D)\text{min} - 2D}{m + n - 2} \quad (2-29)$$

Kontrol tegangan yang terjadi pada tiang pancang

$$P_{\text{satuTP}} = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_y X_{\max}}{\sum x^2} \pm \frac{M_x Y_{\max}}{\sum y^2}$$

(2-30)

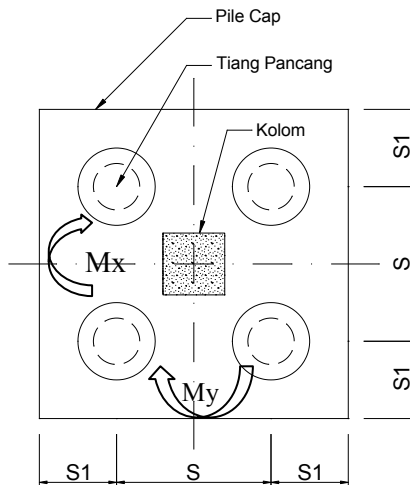
Efisiensi satu tiang pancang:

$$\eta = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

(2-31)

Dimana,  $\theta = \arctg \left( \frac{D}{S} \right)$

P ult = Efisiensi tiang x Pu 1 tiang berdiri



**Gambar 2. 17** Ilustrasi Pondasi Tiang Pancang

(Sumber: Kalingga, 2015)

### 2.15.2 Perencanaan Terhadap Geser

a) Kontrol geser satu arah

$$\phi V_c \geq V_u$$

$$\phi \frac{1}{6} \sqrt{f'} c b_o d \geq V_u$$

(2-32)

b) Kontrol geser dua arah (geser ponds)

Dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser ponds yang terjadi. Kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari:

$$\bullet V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda \sqrt{f'} c b_o d$$

(2-33)

SNI 2847:2013 pasal 11.11.12.1(a)

$$\bullet V_c = 0.083 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'} c b_o d$$

(2-34)

SNI 2847:2013 pasal 11.11.12.1(b)

$$\bullet V_c = 0.33 \lambda \sqrt{f'} c b_o d$$

(2-35)

SNI 2847:2013 pasal 11.11.12.1(c)

Dimana :

$\beta$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

$b_o$  = keliling pada penampang kritis pada poer

$$= 2(b_{\text{kolom}}+d) + 2(h_{\text{kolom}}+d)$$

$\alpha_s \rightarrow 30$ , untuk kolom tepi  
 $\rightarrow 40$ , untuk kolom tengah  
 $\rightarrow 20$ , untuk kolom pojok  
 $\phi V_c > P_u \dots \text{OK}$  (Ketebalan dan ukuran poer memenuhi syarat terhadap geser.

## 2.16 Penggambaran Hasil Perhitungan

Penggambaran hasil perencanaan dan perhitungan dalam tugas akhir ini menggunakan program AutoCAD.

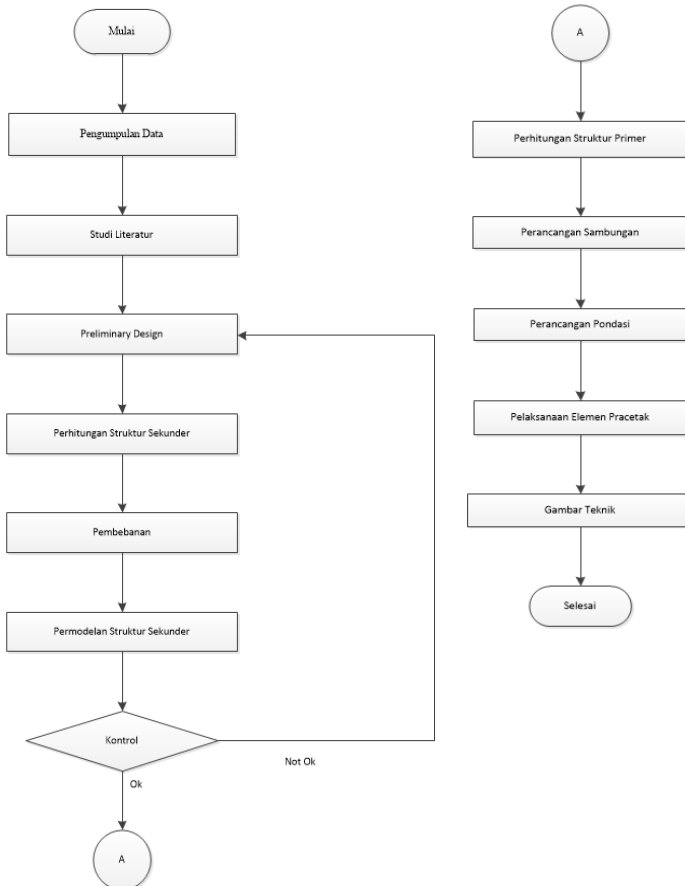
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## BAB III METODOLOGI

### Langkah langkah

Tahapan yang dilakukan untuk mencapai tujuan dari penelitian ini sesuai dengan diagram alir penelitian yang ditampilkan pada gambar 3.1 sebagai berikut



**Gambar 3. 1** Diagram alir metode penyelesaian tugas akhir

Berdasarkan diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan secara lebih detail sebagai berikut:

### **3.1 Pengumpulan Data**

Dalam tahapan ini meliputi kegiatan pengumpulan data perencanaan gedung baik data lapangan maupun data perencanaan struktur gedung

#### **a. Data lapangan**

Data lapangan diperoleh dari data survey langsung dilokasi baik berupa data visual dan pengukuran dilapangan terhadap kondisi proyek Stikes Anwar Medika seperti : data tanah, data perencanaan detail sambungan pracetak. (Lampiran)

#### **b. Data Perencanaan Gedung**

Data perencanaan diperoleh dari instansi yang terkait seperti PT.Tata Bumi Raya selaku kontraktor. (Lampiran). Data – data tersebut antara lain :

1. Peta lokasi proyek
2. Gambar rencana (*shop drawing*) Stikes Anwar Medika : stuktur,arsitektur,MEP.

### **3.2 Studi Literatur**

Dalam tahap ini penulis mencari dan mempelajari berbagai macam teori, pustaka, makalah-makalah, jurnal dan hasil penelitian mengenai hal-hal yang berhubungan dengan perencanaan beton pracetak beserta sambungannya. Hal ini sudah dilakukan pada bab sebelumnya, tepatnya pada Bab 2.

### **3.3 Preliminary Design**

Pada preliminary design ini akan menentukan dimensi elemen struktur gedung untuk digunakan dalam tahap perancangan selanjutnya seperti kolom dan balok induk.

### 3.4 Perhitungan Struktur Sekunder

Pada Tahap ini akan direncanakan elemen elemen pracetak dari fabrikasi. Agar perencana tidak kesulitan sewaktu pelaksanaan lapangan maka diperlukan variasi perencanaan dari elemen elemen pracetak mula dari bentuk elemen,sambungan,dan metode pelaksanaannya.

#### 3.4.1 Pelat

Dalam *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete*, ada tiga macam pelat pracetak (*precast slab*) yang umum diproduksi dan digunakan sebagai elemen pracetak akan tetapi pada penulisan tugas akhir ini akan digunakan *Solid Slab* satu arah. Pelat tipe ini adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan pelat pracetak dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat. Pelat ini bisa berupa pelat pratekan atau beton bertulang biasa dengan lebar rata-rata 4 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 8 inchi. Umumnya bentang dari pelat ini antara 10 hingga 35 feet. Pada perencanaan ini pelat yang digunakan adalah pelat pracetak tanpa lubang.



**Gambar 3. 2** Pelat pracetak tanpa lubang (*Solid Slab*)

(Sumber: *PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete*)

#### 3.4.2 Balok

Untuk balok pracetak (*Precast Beam*), ada tiga jenis balok yang sering atau umum digunakan. Dalam penulisan kali ini akan digunakan balok berpenampang persegi. Keuntungan dari balok jenis ini adalah sewaktu fabrikasi lebih mudah dengan bekisting

yang lebih ekonomis dan tidak perlu memperhitungkan tulangan akibat cor sewaktu pelaksanaan.



**Gambar 3. 3** Balok berpenampang persegi (*Rectangular Beam*)  
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

### 3.5 Pembebanan

Standar acuan yang dipakai dalam studi ini adalah SNI 2847:2013 Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, beban dan gaya yang digunakan dalam perhitungan tegangan – tegangan dalam konstruksi adalah beban aksial dan beban lateral.

### 3.6 Permodelan dan Analisa Struktur

Analisa Konstruksi untuk Gedung Stikes Anwar Medikai ni dilakukan dengan program bantu untuk teknik sipil yaitu menggambar permodelan struktur, mendesain material dan penampang, memasukkan beban gravitasi dan beban lateral, perletakan diasumsikan sebagai jepit-jepit, kemudian dilakukan running, setelah itu dilakukan pengecekan apakah struktur tersebut sesuai dengan persyaratan atau tidak.. Analisa ini menggunakan input semua material dan kondisi lapangan sehingga dapat diketahui tegangan, gaya, momen, lendutan dll . Untuk metode pelaksanaan gedung Stikes Anwar Medika menggunakan metode pracetak yang benar benar harus diperhatikan pada masalah sambungannya.

### 3.7 Perhitungan Struktur Utama

Perhitungan perencanaan struktur utama dilakukan setelah perhitungan untuk elemen sekunder beserta gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisa struktur, selanjutnya pendetailan elemen-elemen struktur utama. Perencanaan struktur ini meliputi perencanaan penulangan lentur dan perencanaan penulangan geser.

### 3.8 Perencanaan Pondasi

Dalam perencanaan pondasi untuk suatu konstruksi dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi. Pemilihan tipe pondasi ini didasarkan atas:

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh pondasi tersebut
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan
- Biaya pondasi dibandingkan biaya bangunan atas

Pemakaian tiang pancang digunakan untuk pondasi suatu bangunan bila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya atau bila tanah keras yang mampu memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam. Struktur pondasi direncanakan dengan menggunakan pondasi dalam, yaitu tiang pancang. Perhitungan kekuatan pondasi berdasarkan data tanah yang didapat dari tes N-SPT. Uji bor atau Soil Penetration Test (SPT) dilakukan untuk mendapatkan nilai daya dukung ijin pondasi berdasarkan data nilai N-SPT dengan menggunakan metode Meyerhoff dan faktor keamanan atau safety factor (SF) sebesar 2.

### 3.9 Perencanaan Sambungan

Konstruksi dengan menggunakan sambungan pracetak mempunyai banyak sekali kelemahan jika dibandingkan dengan sambungan konstruksi dengan metode konvensional. Apalagi Indonesia adalah daerah rawan gempa dan dikhawatirkan jika bangunan terkena gaya lateral yang disebabkan oleh gempa

tersebut akan mengalami kegagalan pada sambungannya. Maka dari itu direncanakan kolom yang dicor menggunakan cor *cast in place* untuk mendapatkan perilaku struktur yang mendekati monolit. Sedangkan yang menggunakan metode precast adalah balok dan pelatnya saja.

Dalam teknologi beton pracetak, terdapat 3 (tiga) macam sambungan yang umum digunakan. Sambungan tersebut antara lain, sambungan dengan cor di tempat (*in situ concrete joint*), sambungan dengan menggunakan las dan sambungan dengan menggunakan baut. Masing-masing dari jenis sambungan tersebut memiliki karakteristik serta kekurangan dan kelebihan sendiri-sendiri yang disajikan dalam tabel 3.1 berikut ini:

**Tabel 3. 1** Perbedaan Sambungan

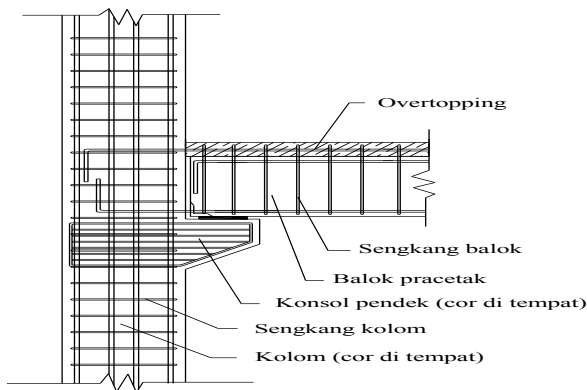
Deskripsi	Sambungan dengan cor setempat	Sambungan dengan las/baut
Kebutuhan struktur	Monolit	Tidak monolit
Jenis sambungan	Basah	Kering
Toleransi dimensi	Lebih tinggi	Tergolong rendah, karena dibutuhkan akurasi yang tinggi
Kebutuhan waktu agar berfungsi secara efektif	Perlu setting time	Segera dapat berfungsi
Ketinggian bangunan	-	Maksimal 25 meter

*Sumber : Wulfram I. Ervianto (2006)*

### 3.9.1 Sambungan Dengan Cor Setempat

Sambungan ini merupakan sambungan dengan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang

monolit seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8. Sambungan jenis ini disebut dengan sambungan basah. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Dalam modifikasi ini akan direncanakan menggunakan sambungan cor setempat.



**Gambar 3. 4** Sambungan dengan cor di tempat

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## **BAB IV PEMBAHASAN**

### **4.1 Preliminary Desain**

#### **4.1.1 Umum**

Preliminary desain merupakan tahapan perhitungan dalam perancangan untuk merencanakan dimensi awal dari suatu elemen struktur. Elemen struktur sendiri terbagi dalam elemen struktur primer atau struktur utama dan struktur sekunder. Struktur sekunder merupakan bagian dari struktur gedung yang tidak menahan kekakuan secara keseluruhan, namun tetap mengalami tegangan-tegangan akibat pembebanan yang bekerja pada bagian tersebut secara langsung, ataupun tegangan akibat perubahan bentuk dari struktur primer. Bagian perancangan struktur sekunder ini meliputi pelat dan tangga. Sebelum menentukan dimensi pelat, perlu diadakan preliminary design untuk menentukan besarnya pembebanan yang terjadi pada pelat. Perhitungan preliminary design mengikuti peraturan SNI 2847:13.

#### **4.1.2 Data Perencanaan**

Sebelum perhitungan *preliminary design* perlu diketahui terlebih dahulu data perencanaan dan beban-beban yang diterima oleh struktur gedung. Pada perencanaan gedung Stikes RS Anwar Medika dimodifikasi menggunakan beton pracetak (non prategang) dengan data perencanaan sebagai berikut:

- Nama gedung : Stikes RS Anwar Medika
- Lokasi : Jl. By Pass KM 30 Krian Sidoarjo
- Tipe bangunan : Sekolah
- Jumlah lantai : 11 lantai
- Ketinggian lantai : 4 meter
- Tinggi bangunan :  $\pm 44$  meter
- Struktur bangunan : Beton pracetak (non prategang)
- Mutu beton ( $f'c$ ) : 30 Mpa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 320 Mpa

- Letak bangunan : Jauh dari pantai

#### 4.1.3 Pembebanan

##### 1. Beban Gravitasi

###### ➤ Beban Mati (PPIUG 1983)

- Berat sendiri beton bertulang :  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Tegel :  $24 \text{ kg/m}^3$
- Dinding batako tanpa lubang :  $300 \text{ kg/m}^3$
- Plafond :  $11 \text{ kg/m}^3$
- Penggantung :  $7 \text{ kg/m}^3$
- Plumbing + duckting :  $25 \text{ kg/m}^3$
- Spesi :  $21 \text{ kg/m}^3$

###### ➤ Beban Hidup

- Beban pekerja :  $100 \text{ kg/m}^2$
- Lantai sekolah :  $250 \text{ kg/m}^2$
- Tangga dan bordes :  $300 \text{ kg/m}^2$

##### 2. Beban Angin

- Jauh dari pantai :  $25 \text{ kg/m}^2$

##### 3. Beban Gempa

Perencanaan dan perhitungan struktur terhadap gempa dilakukan menurut SNI 1726:12.

#### 4.1.4 Perencanaan Dimensi Balok

Modifikasi pada tugas akhir ini menggunakan balok yang penampangnya berbentuk persegi (rectangular beam). Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan *over-topping (cor in site)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan system tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit.

Dimensi balok yang disyaratkan pada SNI 2847:13 pasal 9.5.2.1 yang tertera pada tabel 9.5(a). Nilai pada tabel tersebut

berlaku apabila digunakan langsung untuk komponen struktur beton normal dan tulangan dengan mutu 420 MPa.

$$h_{\min} = \frac{L}{16}$$

digunakan apabila  $f_y = 420 \text{ Mpa}$

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

digunakan untuk  $f_y$  selain 420 Mpa

$$h_{\min} = \frac{L}{16} \times (1,65 - 0,003w_c)$$

untuk nilai  $w_c$  1440 sampai 1840  $\text{kg/m}^3$

Untuk lebar balok diambil  $\frac{2}{3}$  dari tinggi balok:

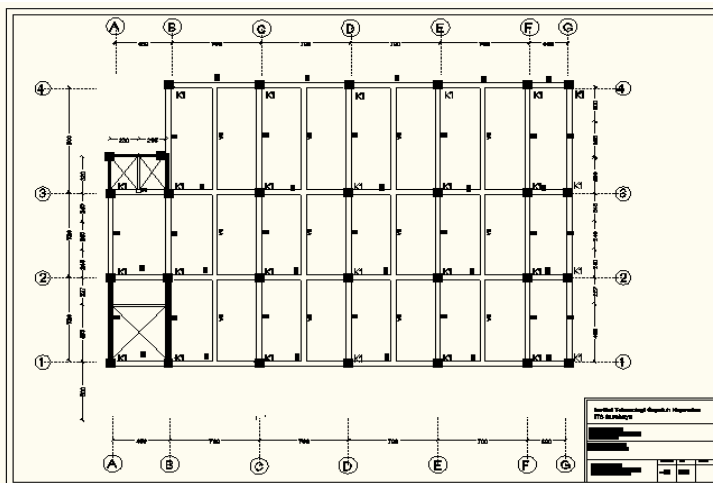
$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

$b$  = lebar balok

$h$  = tinggi balok

$L$  = lebar kotor dari balok



**Gambar 4. 1** Denah pemalokan

#### 4.1.4.1 Dimensi Balok Induk

Dimensi balok induk direncanakan sebagai balok dengan dua tumpuan sederhana dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 320 MPa sehingga digunakan:

➤ **Dimensi balok induk melintang: L = 9 meter**

$$h_{\min} = \frac{900}{16} \times \left(0,4 + \frac{320}{700}\right) = 48,21 \text{ cm}$$

$$h_{\min} = 48,21 \text{ cm} \approx \text{digunakan } h = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 48,21 \text{ cm} = 32,14 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 50 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk melintang dengan dimensi 50/70

**Tabel 4. 1** Rekapitulasi Dimensi Balok Induk

Kode balok induk	Bentang bersih (Lb)	$h_{\min}$	b	$h_{\text{pakai}}$	$b_{\text{pakai}}$	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
B1	900	48,21	32,14	70	50	50/70
B2	720	38,57	25,71	70	50	50/70
B3	700	37,50	25,00	70	50	50/70
B4	450	24,11	16,07	70	50	50/70
B5	300	16,07	10,71	70	50	50/70

#### 4.1.4.2 Dimensi Balok Anak

Dimensi balok anak direncanakan sebagai balok pada dua tumpuan menerus dengan mutu beton 30 MPa dan mutu baja 400 MPa sehingga digunakan:

$$h_{\min} = \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad \begin{array}{l} \text{fy selain 420 Mpa} \\ \text{(SNI 2847:13 Tabel 9.5.a)} \end{array}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

Dimana:

b = lebar balok

h = tinggi balok

maka dimensi balok anak arah melintang dengan  $L = 9$  meter adalah:

$$h_{\min} = \frac{900}{21} \times \left(0,4 + \frac{320}{700}\right) = 42 \text{ cm}$$

digunakan  $h_{\min} = 50 \text{ cm}$

$$b = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \times 50 \text{ cm} = 28 \text{ cm} \approx \text{digunakan } b = 30 \text{ cm}$$

maka digunakan balok anak arah melintang dengan dimensi 50/30

**Tabel 4. 2** Rekapitulasi Dimensi Balok Anak

Kode Balok Anak	Bentang bersih ( $L_b$ )	$h_{\min}$	$b$	$h_{\text{pakai}}$	$b_{\text{pakai}}$	Dimensi
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
BA1	900	42	28	50	30	50/30
BA2	720	34	23	50	30	50/30

#### 4.1.5 Perencanaan Tebal Pelat

##### 4.1.5.1 Peraturan Perencanaan Pelat

Penentuan tebal pelat minimum satu arah harus sesuai dengan SNI 2847:13 pasal 9.5.3.2 tabel 9.5(c). sedangkan untuk pelat dua arah harus sesuai dengan SNI 2847:13 pasal 9.5.3.3.

Syarat ketebalan pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya:

d) Untuk  $\alpha_m$  yang sama atau lebih kecil dari 0,2 harus menggunakan SNI 2847:13 pasal 9.5.3.2

2 Tebal pelat tanpa penebalan 120 mm

3 Tebal pelat dengan penebalan 100 mm

e) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 0,2 tapi tidak lebih dari 2,0, ketebalan pelat minimum harus memenuhi:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} \quad (\text{SNI 2847:13, persamaan 9-12})$$

dan tidak boleh kurang dari 125 mm.

- f) Untuk  $\alpha_m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} \quad (\text{SNI 2847:13, persamaan 9-13})$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

dimana:

$\ell_n$  = panjang bentang bersih arah memanjang pelat (m)

$\beta$  = rasio panjang bentang arah memanjang dengan arah memendek pelat

$\alpha_m$  = nilai rata-rata dari  $\alpha$  untuk semua balok pada tepi dari suatu pelat

$\alpha$  = rasio dari kekuatan lentur penampang balok dengan kekakuan pelat

$f_y$  = kuat leleh baja non-prategang (Mpa)

$$\alpha = \frac{E_{\text{balok}} \times I_{\text{balok}}}{E_{\text{pelat}} \times I_{\text{pelat}}}$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times bw \times h^3 \times k$$

$$I_{\text{pelat}} = \frac{1}{12} \times b \times t^3$$

$$k = \frac{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left( \frac{hf}{hw} \right) \times \left[ 4 - 6 \left( \frac{hf}{hw} \right) \right] + 4 \left( \frac{hf}{hw} \right)^2 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left( \frac{hf}{hw} \right)^3}{1 + \left( \frac{be}{bw} - 1 \right) \times \left( \frac{hf}{hw} \right)}$$

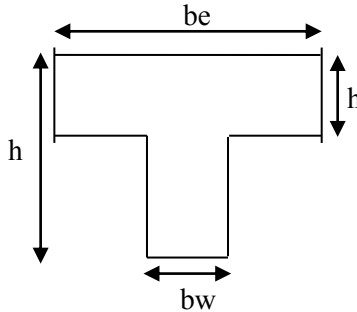
Perumusan untuk mencari lebar flens pada balok SNI 2847:13 pasal 8.12

- Balok tengah (Interior)

$$be_1 \leq bw + 2(8hf)$$

$$be_2 \leq bw + (2 \times \frac{1}{2} L_n)$$

dipakai yang terkecil



Menurut SNI 2847:13 pasal 8.12.2. Nilai lebar slab efektif sebagai sayap balok-T tidak boleh memenuhi seperempat bentang balok, dan lebar efektif sayap yang menggantung pada masing-masing sisi badan balok tidak boleh melebihi:

- Delapan kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

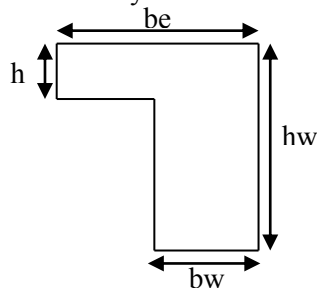
• Balok tepi (Eksterior)

$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} L_n$$

dipakai yang terkecil



Menurut SNI 2847:13 pasal 8.12.3 nilai lebar sayap efektif yang menggantung tidak boleh melebihi:

- Seperduabelas panjang bentang balok
- Enam kali tebal slab
- Setengah jarak bersih ke badan di sebelahnya

#### 4.1.5.2 Data Perencanaan Tebal Pelat Lantai dan Atap

Pelat yang direncanakan berupa pelat lantai dengan 5 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu:

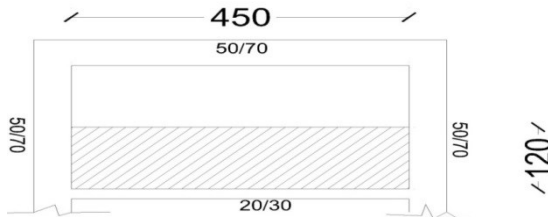
- Pelat tipe A : 120 x 350 cm

- Pelat tipe B : 150 x 350 cm
- Pelat tipe C : 120 x 450 cm
- Pelat tipe D : 120 x 300 cm
- Pelat tipe E : 150 x 300 cm

Semua tipe pelat tersebut direncanakan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mutu beton : 30 MPa
- Mutu baja : 320 MPa
- Tebal pelat rencana : 12 cm

Dalam perencanaan ini, pelat berupa pelat pracetak yang kemudian pada saat pemasangan elemen pracetak tersebut dilanjutkan (pekerjaan overtopping). Dalam tugas akhir ini pelat tipe C dengan dimensi terbesar yaitu 120 x 450 cm digunakan sebagai contoh perhitungan dimensi tebal pelat dengan sehingga nilai  $L_n$  dan  $S_n$  yaitu:



$$L_n = 450 - \left( \frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) = 400 \text{ cm}$$

$$S_n = 120 - \left( \frac{20}{2} + \frac{50}{2} \right) = 85 \text{ cm}$$

#### 4.1.5.3 Kontrol Tebal Pelat

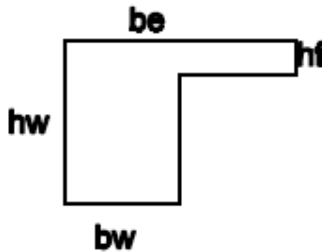
Untuk pelat tipe C dengan dimensi 120 x 450 cm nilai

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{400}{85} = 4,70$$



sehingga  $\beta > 2$  tergolong pelat satu arah, maka perhitungan lebar sayap efektif adalah:

**1. Balok induk L = 120 cm (50/70) (Eksterior)**



$$be_1 \leq bw + \frac{L}{12} = 50 + \frac{120}{12} = 60 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + 6hf = 50 + 6(12) = 122 \text{ cm}$$

$$be_3 \leq bw + \frac{1}{2} L_n = 50 + \frac{1}{2} (85) = 92.5 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $be = 60 \text{ cm}$  ... (terkecil)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)}$$

$$= \frac{1 + \left(\frac{60}{50} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{12}{70}\right) + 4 \left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{60}{50} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{60}{50} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)}$$

$$= 1,069$$

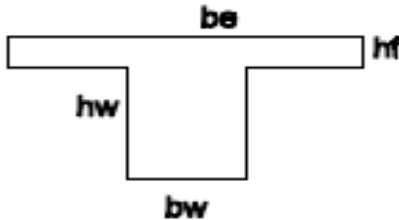
$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k$$

$$= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,069$$

$$= 1528181,252 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 120 \times 12^3 \\
 &= 43200 \text{ cm}^4 \\
 \alpha &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{1528181,252}{43200} = 88,43
 \end{aligned}$$

## 2. Balok induk L = 120 cm (50/70) (Interior)



$$\begin{aligned}
 be_1 &\leq bw + 2(8hf) = 50 + 2(8 \times 12) = 242 \text{ cm} \\
 be_2 &\leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 50 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 85\right) = 135 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $be = 242 \text{ cm}$  ... (terkecil)

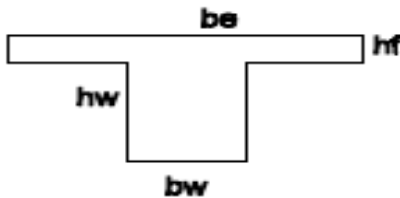
$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[4 - 6\left(\frac{hf}{hw}\right) + 4\left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{242}{50} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right) \left[4 - 6\left(\frac{12}{70}\right) + 4\left(\frac{12}{70}\right)^2 + \left(\frac{242}{50} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{12}{70}\right)} \\
 &= 1,473
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k \\
 &= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 1,473 \\
 &= 2105647,817 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 120 \times 12^3 \\
 &= 17280 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{2105647,817}{17280} = 121,85$$

### 3. Balok induk L = 450 cm (50/70) (Interior)



$$be_1 \leq bw + 2(8hf) = 50 + 2(8 \times 12) = 212 \text{ cm}$$

$$be_2 \leq bw + \left(2 \times \frac{1}{2} Ln\right) = 50 + \left(2 \times \frac{1}{2} \times 400\right) = 420 \text{ cm}$$

Maka dipakai  $be = 290 \text{ cm}$  ... (terkecil)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{hf}{hw}\right) + 4 \left(\frac{hf}{hw}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{hf}{hw}\right)} \\
 &= \frac{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right) \left[ 4 - 6 \left(\frac{15}{70}\right) + 4 \left(\frac{15}{70}\right)^2 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{290}{50} - 1\right) \left(\frac{15}{70}\right)}
 \end{aligned}$$

$$= 2,471$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} \times bw \times hw^3 \times k$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{12} \times 50 \times 70^3 \times 2,471 \\
&= 111206,6777 \text{ cm}^4 \\
I_{\text{pelat}} &= \frac{1}{12} \times L \times hf^3 \\
&= \frac{1}{12} \times 450 \times 12^3 \\
&= 64800 \text{ cm}^4 \\
\alpha &= \frac{I_{\text{balok}}}{I_{\text{pelat}}} = \frac{111206,6777}{64800} = 1,716
\end{aligned}$$

$$\text{Jadi, } \alpha_m = \frac{88,43 + 121,85 + 1,716}{4} = 70,7$$

Karena  $\alpha_m > 2$  maka perletakan pelat adalah jepit penuh

Berdasarkan SNI 2847:13 pasal 9.5.3.3(c) yang mana  $\alpha_m > 2$  maka ketebalan pelat minimum adalah:

$$h = \frac{\ell_n \left( 0,8 + \frac{fy}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

dan tidak boleh kurang dari 90 mm

$$h = \frac{670 \left( 0,8 + \frac{400}{1400} \right)}{36 + 9 \times 2,33} = 6,2263 \text{ cm} \approx 12 \text{ cm}$$

Maka digunakan tebal pelat 12 cm

#### 4.1.6 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom yang tinjau adalah kolom yang mengalami pembebanan terbesar. Data-data yang diperlukan dalam menentukan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

- Tebal pelat = 12 cm = 120 mm
- Tinggi tiap lantai = 4,00 m

- Dimensi balok induk = Tabel 4.1
- Dimensi balok anak = Tabel 4.2

Bedasarkan PPIUG 1983 pembebanan seperti berikut ini:

a. Beban mati lantai 2-11

Beban Mati Lantai 1-10											
pelat	5,4	x	7	x	0,12	x	2400	x	5	=	54432 kg
penggantung	5,4	x	7	x		x	7	x	5	=	1323 kg
plafond	5,4	x	7	x		x	11	x	5	=	2079 kg
kolom	4	x	0,7	x	0,7	x	2400	x	5	=	23520 kg
balok induk	7	x	0,7	x	0,5	x	2400	x	5	=	29400 kg
balok induk	5,4	x	0,7	x	0,5	x	2400	x	5	=	22680 kg
balok anak	5,4	x	0,4	x	0,5	x	2400	x	5	=	12960 kg
balok anak	7	x	0,3	x	0,2	x	2400	x	5	=	5040 kg
Dinding	4	x	10,8	x		x	250	x	5	=	54000 kg
spesi (2cm)	5,4	x	7	x	2	x	21	x	5	=	7938 kg
sanitasi	5,4	x	7	x		x	20	x	5	=	3780 kg
tegel (1cm)	5,4	x	7	x	1	x	24	x	5	=	4536 kg
plumbing ducting	5,4	x	7	x		x	10	x	5	=	1890 kg
total										=	223578 kg

b. Beban hidup

atap	5,4	x	7	x	120	x	1	=	4536 kg	
lantai	5,4	x	7	x	250	x	10	=	94500 kg	7875
Total								=	99036 kg	79228,8

Bedasarkan RSNI 1727:13 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\begin{aligned} LL &= 0,8 \times 99036 \\ &= 79228,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi berat total} &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (223578) + 1,6 (79228,8) \\ &= 435607,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 Pasal 9.3.2.2 untuk komponen struktur yang terkena beban aksial dan beban aksial dengan lentur, faktor reduksi yang digunakan adalah  $\phi = 0,65$ . Setelah itu dapat diperkirakan luas dimensi kolom adalah sebagai berikut:

$$\text{Mutu beton} = 30 \text{ Mpa} = 30 \times 10 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

Rencana Awal  $\rightarrow A = 2233,88 \text{ cm}^2$

Misalkan  $b = h$ , maka  $b^2 = 2233,88 \text{ cm}^2$

$$b = 47,26 \text{ cm} \approx 70 \text{ cm}$$

$A = b \times h$  dengan penampang persegi  $b = h$ , maka didapat dimensi kolom  $h = 47,26 \text{ cm}$ , sehingga dimensi kolom  $70 \times 70 \text{ cm}$  dapat memenuhi sebagai desain preliminary kolom. Jadi dimensi kolom digunakan **70/70 cm**.

#### 4.1.7 Perencanaan Tebal Dinding Geser

Bedasarkan peraturan SNI 2847:13 pasal 14.5.3.1 ketebalan dinding pendukung tidak boleh kurang dari  $1/25$  tinggi atau panjang bagian dinding yang ditopang secara lateral, diambil yang terkecil, dan tidak kurang daripada 100 mm.

Dalam tugas akhir ini tebal dinding geser direncanakan sebagai berikut:

Dinding Geser pada tangga

Tebal dinding geser = 30 cm

Panjang bentang dinding = 720 cm

Tinggi dinding = 400 cm

$$T \geq H/25 = 400/25 = 16 \text{ cm}$$

$$T \geq L/25 = 720/25 = 28,8 \text{ cm}$$

Dengan demikian tebal dinding geser 30 cm memenuhi.

Dinding Geser pada lift

Tebal dinding geser = 20 cm

Panjang bentang dinding = 320 cm

Tinggi dinding = 400 cm

$$T \geq H/25 = 400/25 = 16 \text{ cm}$$

$$T \geq L/25 = 320/25 = 12,8 \text{ cm}$$

Dengan demikian tebal dinding geser 20 cm memenuhi

#### 4.2 Perencanaan Pelat

Desain tebal pelat direncanakan menggunakan ketebalan 120 mm dengan perincian tebal pelat pracetak 55 mm dan pelat cor setempat (*overtopping*) 65 mm (SNI 7833:13). Peraturan yang digunakan untuk penentuan besar beban yang bekerja pada

struktur pelat adalah Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983). Desain Pelat direncanakan pada beberapa keadaan, yaitu :

### **1. Sebelum Komposit**

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas.

### **2. Sesudah Komposit**

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit elastis.

Pada dasarnya, permodelan pelat terutama perletakan baik pada saat sebelum komposit dan setelah komposit adalah untuk perhitungan tulangan pelat. Pada saat sebelum komposit yaitu kondisi ketika pemasangan awal pelat, pelat diasumsikan tertumpu pada dua tumpuan. Sedangkan pada saat setelah komposit, perletakan pelat diasumsikan sebagai perletakkan terjepit elastis.

Penulangan akhir nantinya merupakan penggabungan pada dua keadaan diatas. Selain tulangan untuk menahan beban gravitasi perlu juga diperhitungkan tulangan angkat yang sesuai pada pemasangan pelat pracetak.

#### **4.2.1 Data Perencanaan**

Data perencanaan yang digunakan untuk perencanaan pelat sesuai dengan preliminary desain adalah:

- Tebal pelat = 12 cm
- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
- Diameter tulangan rencana = 8 mm

#### 4.2.2 Pembebanan

##### ➤ Pelat Lantai

##### Sebelum komposit

Dalam pembebanan sebelum komposit akan diperhitungkan dua keadaan yaitu:

1. Berat orang yang bekerja dan peralatannya saat pemasangan pelat pracetak ataupun saat pengecoran topping dianggap sebagai beban kerja dan berat topping.
2. Topping telah terpasang tapi belum berkomposit dengan pelat pracetak, sehingga yang terjadi hanya beban topping saja.

Pada kedua keadaan ini diambil nilai yang paling kritis.

- Beban mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} = 0,07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat topping} & = 0,05 \times 2400 & = 120 \text{ kg/m}^2 \\ \text{DL} & & \hline & & = 288 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban kerja} \quad \quad \quad \text{LL} \quad = 250 \text{ kg/m}^2$$

##### Setelah komposit

- Beban mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} \quad = 0,12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Plafon+penggantung} \quad = 11 + 7 \text{ kg/m}^2 = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ubin (t = 2 cm)} \quad = 0,02 \times 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (t = 2 cm)} \quad = 0,02 \times 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Ducting AC + pipa} & = 10 + 5 \text{ kg/m}^2 & = 15 \text{ kg/m}^2 \\ \text{DL} & & \hline & & = 411 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

- Beban hidup (LL)

$$\text{Beban hidup pada lantai LL} \quad = 250 \text{ kg}$$

##### ➤ Pembebanan Pelat Atap

##### Sebelum komposit

- Beban mati (DL)

$$\text{Berat sendiri} = 0,07 \times 2400 = 168 \text{ kg/m}^2$$



$$\begin{array}{lcl} \text{Berat topping} & = 0,05 \times 2400 & = 120 \text{ kg/m}^2 \\ \text{DL} & & = 288 \text{ kg/m}^2 \end{array} +$$

- **Beban hidup (LL)**

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban kerja} & & = 100 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban air hujan} & & = 20 \text{ kg/m}^2 \\ \text{LL} & & = 120 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

### **Setelah komposit**

- **Beban mati (DL)**

$$\begin{array}{lcl} \text{Berat sendiri} & = 0,12 \times 2400 & = 288 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Plafon+penggantung} & = 11 + 7 \text{ kg/m}^2 & = 18 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Aspal (t = 1 cm)} & = 0,01 \times 1400 & = 14 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Spesi (t = 2 cm)} & = 0,02 \times 2100 & = 42 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Ducting AC + pipa} & = 10 + 5 \text{ kg/m}^2 & = 15 \text{ kg/m}^2 \\ \text{DL} & & = 387 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

- **Beban hidup (LL)**

$$\begin{array}{lcl} \text{Beban hidup pada atap} & & = 100 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Beban air hujan} & & = 20 \text{ kg/m}^2 + \\ \text{LL} & & = 120 \text{ kg/m}^2 \end{array}$$

Bedasarkan RSNI 1727:13 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\text{Beban hidup} = 0,8 \times 120 \text{ kg/m}^2 = 96 \text{ kg/m}^2$$

#### **4.2.2.1 Kombinasi pembebanan pelat**

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 2847:13 pasal 9.2.1 didapatkan

$$Q_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

Berikut adalah perhitungan kombinasi pembebanan **pelat lantai**:

- Keadaan 1 sebelum komposit, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 (168) + 1,6 (250) = 602 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2 sebelum komposit, topping telah terpasang

$$Q_u = 1,2 (288) + 1,6 (0) = 345,6 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 (411) + 1,6 (250) = 893,2 \text{ kg/m}^2$$

Serta perhitungan kombinasi pembebanan **pelat atap**:

Keadaan 1, ada beban kerja

$$Q_u = 1,2 (168) + 1,6 (120) = 394 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 2, topping telah terpasang

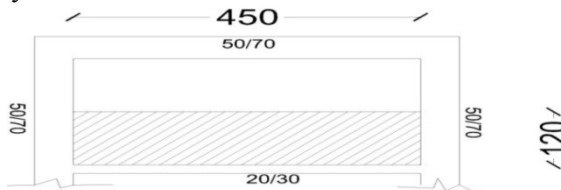
$$Q_u = 1,2 (288) + 1,6 (0) = 346 \text{ kg/m}^2$$

- Keadaan 3, setelah komposit

$$Q_u = 1,2 (387) + 1,6 (96) = 618 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat

Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat tipe C dengan dimensi 120 cm × 450 cm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.



**Gambar 4. 2** Pelat tipe C (120 cm x 450 cm)

Data perencanaan untuk penulangan pelat:

- Menentukan data perencanaan penulangan pelat
- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| Dimensi pelat             | = 120 cm × 450 cm |
| Tebal pelat pracetak      | = 70 mm           |
| Tebal overtopping         | = 55 mm           |
| Tebal decking             | = 20 mm           |
| Diameter tulangan rencana | = 8 mm            |
| Mutu tulangan baja (fy)   | = 320 MPa         |

Mutu beton ( $f'c$ ) = 30 MPa  
 Luas tulangan = 50,26 mm<sup>2</sup>  
 Kondisi sebelum komposit



$$dx = 70 - 20 - \frac{8}{2} = 46 \text{ mm}$$

$$dy = 70 - 20 - 8 - \frac{8}{2} = 38 \text{ mm}$$

▪ Kondisi sesudah komposit

$$dx = 120 - 20 - \frac{8}{2} = 96 \text{ mm}$$

$$dy = 120 - 20 - 8 - \frac{8}{2} = 88 \text{ mm}$$

▪ Untuk mutu beton  $f'c = 30$  MPa berdasarkan SNI 2847:13 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right)$$

$$= 0,043432162$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428$$

$\rho_{min}$  dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0044

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'c'} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,55$$

$$L_y = 450 - \left( \frac{50}{2} + \frac{50}{2} \right) + 2 \times 0,04 = 408 \text{ cm}$$

$$L_x = 120 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{408}{120} = 3,4 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

Pada penulangan pelat satu arah hanya terdapat satu tulangan utama yaitu searah melintang pelat. Sedangkan tulangan yang terdapat pada arah memanjang pelat merupakan tulangan pembagi yang berfungsi untuk menahan susut dan suhu.

Penulangan utama pelat pada tumpuan sama dengan pada lapangan, tetapi letak tulangan tariknya berbeda. Pada daerah tumpuan tulangan tarik berada di atas sedangkan pada daerah lapangan tulangan tariknya berada di bawah. Tulangan lapangan dan tulangan tumpuan baik tulangan utama maupun tulangan pembagi direncanakan menggunakan  $\varnothing 8$  ( $50,26 \text{ mm}^2$ )

#### 4.2.3.1 Perhitungan Penulangan Pelat Sebelum Komposit

Menentukan momen ( $M_u$ ) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{480}{120} = 3,4 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

- $M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_x^2 \text{ x} \rightarrow \text{x} = 83$
- $M_{uly}^{(+)} = M_{uty}^{(-)} = 0,001 \text{ Qu } L_y^2 \text{ y} \rightarrow \text{y} = 57$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

##### • Penulangan arah X (tulangan utama)

$$\begin{aligned} M_{ulx}^{(+)} &= M_{utx}^{(-)} = 0,001 \times 602 \times 1,2^2 \times 83 \\ &= 56,080112 \text{ kgm} = 560801,12 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{560801,12}{0,9 \times 1000 \times 46^2} = 0,37756$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 0,37756}{320}} \right) = 0,001188753$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0044 < \rho_{\text{min}} = 0,0044$  maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} = 0,0044$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d_x \\ &= 0,0044 \times 1000 \times 46 = 201,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$ , maka:

$$\begin{aligned} &\leq 3 \times 70 \\ &\leq 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\emptyset 8}}$$

$$= \frac{201,25}{50,26} = 4,004 \approx 5 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/5 = 200 \text{ mm} < S_{\text{maks}} = 210 \text{ mm}$

Maka dipakai jarak tulangan 200 mm dan digunakan tulangan lentur Ø8-200 mm.

### • Penulangan arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\text{min}} = 0,002$  (SNI 2847:13 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 38 = 76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$ , maka:

$$\begin{aligned} &\leq 5 \times 70 \\ &\leq 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\emptyset 8}}$$

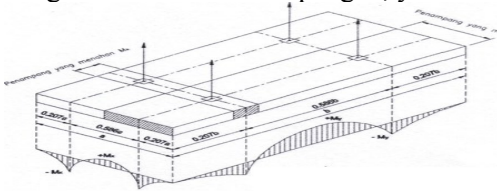
$$= \frac{76}{50,26} = 1,512738854 \approx 2 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 350 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan susut  $\varnothing 10$ -350 mm.

#### 4.2.3.2 Penulangan Sebelum Komposit Akibat Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3 dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



**Gambar 4. 3** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe B:  $120 \times 450$  cm ( $L_x = 110$  cm,  $L_y = 400$  cm)

Ditentukan  $a = 1,1$  m dan  $b = 4$  m

Dengan  $w = (0,055 \times 2400) = 132$  kg/m

Maka:

$$M_x = 0,0107 \times 168 \times 1,2^2 \times 4,08 = 35,90828237 \text{ kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 168 \times 1,2 \times 4,08^2 = 10,56125952 \text{ kgm}$$

- **Penulangan arah X (tulangan utama)**

$$M_u = 35,90828237 \text{ kgm} = 359082,8237 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{359082,8237}{0,9 \times 1000 \times 46^2} = 0,188554308$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 0,188554308}{320}} \right) = 0,000591427$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,000591427 < \rho_{\text{min}} = 0,0044$  maka dipakai  $\rho_{\text{perlu}} = \rho_{\text{min}} = 0,0044$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0044 \times 1000 \times 46 = 201,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$ , maka:

$$\begin{aligned} &\leq 3 \times 70 \\ &\leq 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\emptyset 8}}$$

$$= \frac{201,25}{50,26} = 4,0037 \approx 5 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/5 = 200 \text{ mm} > S_{\text{maks}} = 210 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan lentur  $\emptyset 8$ -200 mm.

#### • Penulangan arah Y (tulangan susut)

$M_u = 276,6699 \text{ kgm} = 2766699 \text{ Nmm}$

$\rho_{\text{min}} = 0,002$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 38 = 76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.12.2.2 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 5 \times \text{tebal pelat}$ , maka:

$$\begin{aligned} &\leq 5 \times 70 \\ &\leq 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s\emptyset 8}}$$

$$= \frac{76}{50,26} = 1,512738854 \approx 2 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/2 = 500 \text{ mm} > S_{\text{maks}}$

Maka digunakan tulangan susut  $\emptyset 8$ -350 mm.

#### 4.2.3.3 Penulangan Pelat Sesudah Komposit

$$Q_u = 893,2 \text{ kg/m}^2$$

$$d_x = 96 \text{ mm}$$

$$d_y = 88 \text{ mm}$$

Menentukan momen (Mu) yang bekerja pada pelat dengan menggunakan koefisien PBI 1971 tabel 13.3.1 didapat persamaan momen untuk asumsi perletakan terletak beban pada keempat tepinya dan terjepit dikedua sisinya:

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{408}{120} = 3,4 \geq 2 \text{ (pelat satu arah)}$$

$$\bullet \text{ Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} = 0,001 Q_u L_x^2 x \rightarrow x = 83$$

$$\bullet \text{ Muly}^{(+)} = \text{Muty}^{(-)} = 0,001 Q_u L_y^2 y \rightarrow y = 57$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

##### • Penulangan arah X (tulangan utama)

$$\text{Mulx}^{(+)} = \text{Mutx}^{(-)} = 0,001 \times 893,2 \times 1,2^2 \times 83$$

$$= 89,704076 \text{ kgm} = 897040,76 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{897040,76}{0,9 \times 1000 \times 96^2} \\ &= 0,108150169 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 0,108150169}{320}} \right) \\ &= 0,000338689 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,0044 > \rho_{\text{perlu}} 0,000338689 \text{ sehingga}$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0044$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\text{min}} = 0,0044$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0044 \times 1000 \times 96 = 402,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 120 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &\leq 360 \text{ mm} \\ \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s\emptyset 8}} \\ &= \frac{402,5}{50,26} = 8,355634512 \approx 9 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/9 = 111 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots\dots (\text{OK})$   
Maka digunakan tulangan lentur  $\emptyset 8$ -100 mm.

#### • Penulangan arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\min} = 0,002$  (SNI 2847:13 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 88 = 176 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 120 \\ &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{s\emptyset 8}} \\ &= \frac{176}{50,26} = 3,503184713 \approx 4 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/4 = 250 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots\dots (\text{OK})$   
Maka digunakan tulangan susut  $\emptyset 8$ -250 mm.

#### 4.2.3.4 Penulangan Stud Pelat Lantai

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan topping cor ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh topping cor ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan stud.

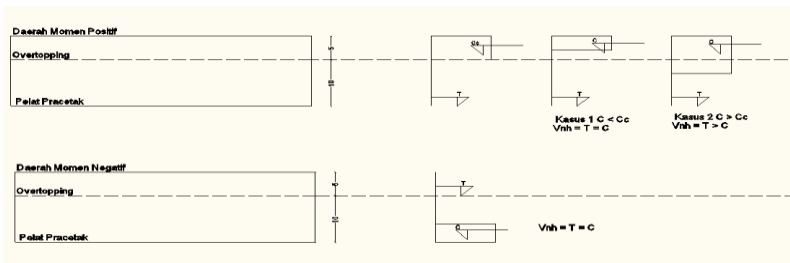
Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada

penampang tekan menjadi gaya geser horizontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban.

Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horizontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horizontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horizontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



**Gambar 4. 4** Diagram gaya geser horizontal penampang komposit

Perhitungan stud pelat 120 cm × 450 cm

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 f_c' A_{\text{topping}} \\
 &= 0,85 \times 30 \times 65 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\
 &= 1657500 \text{ N} = 1657,5 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Dipakai stud Ø8 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,26 \text{ mm}^2 \\
 V_{nh} &= C = T \\
 &= A_s f_y \\
 &= 50,26 \times 240 = 12057,6 \text{ N} = 12,06 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\
 &= 0,55 \times 1000 \times 96 \\
 &= 52800 \text{ N} = 52,8 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$V_{nh} < 0,55b_v.d \text{ ....(OK)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:13 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontakannya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser  $V_{nh}$  tidak boleh diambil lebih dari  $0,55b_v.d$  dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$S_{maks} = 4 \times 65 \text{ mm} = 260 \text{ mm}$$

$$S \leq 600 \text{ mm}$$

maka,  $S_{pakai} = 250 \text{ mm}$

SNI 2847:13 Pasal 11.4.6.3:

$$\begin{aligned}
 A_{v_{min}} &= 0.062 \sqrt{f_c} \frac{b_w \times s}{f_y} \\
 &= 0.062 \sqrt{30} \frac{1000 \times 250}{240} = 353,74 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_v \geq (0,35b_w.S)/f_y = (0,35 \times 1000 \times 250)/240 = 364,58 \text{ mm}^2$$

$$\text{maka, } A_{v_{min}} = 353,74 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan Ø8 dengan  $A_s = 50,26 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (shear connector) Ø8-250 mm ( $A_v = 353,74 \text{ mm}^2$ ).

#### 4.2.3.4 Kontrol Lendutan

Tebal pelat yang dipakai lebih besar dari tebal minimum pelat seperti yang disyaratkan SNI 2847:13 Pasal 9.5.3, maka tidak perlu dilakukan control terhadap lendutan.

#### 4.2.3.5 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

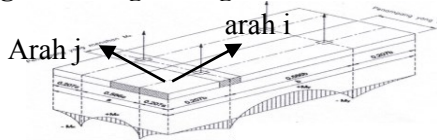
Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 2847:13 :

- $l_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 8 = 64 \text{ mm}$   
(SNI 2847:13 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} \geq 150 \text{ mm}$   
(SNI 2847:13 pasal 12.5.1)
- $l_{dh} = (0,24f_y \sqrt{f'_c}) / d_b$  (SNI 2847:13 pasal 12.5.2)  
 $= (0,24 \times 320 \times \sqrt{30}) / 8 = 52,58 \text{ mm}$   
 Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.

#### 4.2.3.6 Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat. Contoh perhitungan akan diambil pelat tipe C dengan dimensi 450 cm x 120 cm dengan empat titik pengangkatan (*four point pick up*).

##### a) Perhitungan Tulangan Angkat Pelat

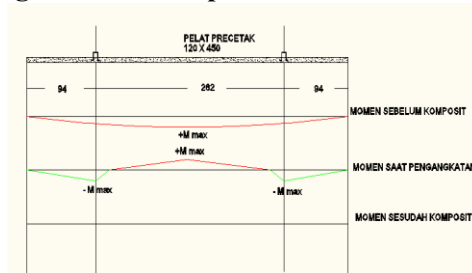


**Gambar 4. 5** Posisi titik angkat pelat (4 buah titik angkat)

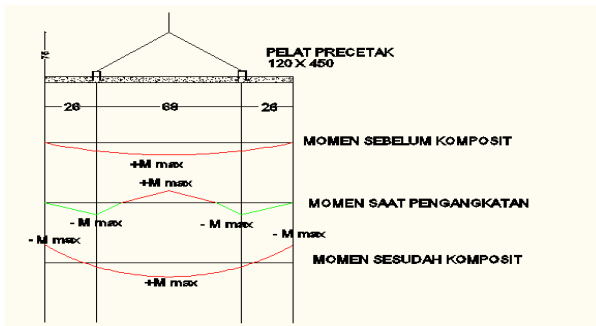
(Sumber: PCI Design Handbook 6<sup>th</sup> Edition Precast and Prestressed Concrete)

- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ( $k = 1,2$ ) pada saat pengangkatan.
- $DL = 0,1 \times 1,2 \times 4,5 \times 2400 = 712,8 \text{ kg}$

### b) Pengangkatan Pelat Tipe C



**Gambar 4. 6** Momen pengangkatan pelat arah i



**Gambar 4. 7** Momen pengangkatan pelat arah j

Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta diatas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka  $LL = 200 \text{ kg}$ .

Beban ultimate =  $(1,2 \times 1,2 \times 712,8) + (1,2 \times 1,6 \times 200) = 1218,432 \text{ kg}$

Gaya angkat (Tu) setiap tulangan =  $\frac{1218,432}{4} = 304,608 \text{ kg}$

Sesuai PBBBI pasal 2.2.2, tegangan tarik ijin baja

$$\sigma_{tarik \text{ ijin}} = \frac{fy}{1,5} = \frac{320}{1,5} = 2133,33 \text{ kg/cm}^2$$

Maka diameter tulangan angkat =  $\sqrt{\frac{4 \times 304,608}{\pi \times 2133,33}} = 0,427$  Maka dipasang tulangan angkat  $\varnothing 8 \text{ mm}$

### c) Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

$f_{\text{cr}}$  untuk beton 28 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,83 \text{ Mpa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,055 = 0,0275 \text{ m}$$

Berdasarkan *PCI Design Handbook, Precast and Prestress Concrete, Fourth Edition, 1992* momen maksimum diperhitungkan

Berdasarkan gambar diatas:

- Arah i sama dengan arah y
- Arah j sama dengan arah x

$$w = (t_{\text{pelat}} \times 2400 \text{ kg/m}^3) + \left( \frac{W_{\text{pekerja}}}{A_{\text{pelat}}} \right)$$

$$w = (0,055 \times 2400) + \left( \frac{200}{1,2 \times 4,5} \right) = 150,52 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} + M_x &= - M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 150,52 \times 1,2^2 \times 4,5 \\ &= 101,464 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + M_y &= - M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 150,52 \times 1,2 \times 4,5^2 \\ &= 236,75 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$P = \frac{1218,432}{4} = 304,608 \text{ kg}$$

$$M_y = \frac{P \times y_c}{\text{tg } 45} = \frac{304,608 \times 0,0275}{\text{tg } 45} = 8,37672 \text{ kgm}$$

$$M_{y_{\text{tot}}} = 8,37672 + 236,75 = 245,128 \text{ kgm}$$

-  $M_y$  ditahan oleh penampang selebar  $a/2 = 120/2 = 60 \text{ cm}$

$$Z = \frac{1}{6} \times 60 \times 5,5^2 = 302,5 \text{ cm}^3$$

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f'c} = 0,7 \times \sqrt{30} = 3,83 \text{ Mpa}$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{tot}}}{Z} = \frac{245,128 \times 10^4}{302,5 \times 10^3}$$

$$= 0,810338174 \text{ Mpa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

- Mx ditahan oleh penampang selebar  $15t = 82,5 \text{ cm}$  atau  $b/2 = 225 \text{ cm}$

Ambil terkecil =  $82,5 \text{ cm}$

$$M_x = \frac{P \times y_c}{t_g \ 45} = \frac{304,608 \times 0,0275}{t_g \ 45} = 8,37672 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{tot}} = 8,37672 + 101,464 = 109,84 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \times 82,5 \times 5,5^2 = 415,9375 \text{ cm}^3$$

$$f_t = f_b = \frac{M_{\text{tot}}}{Z} = \frac{109,84 \times 10^4}{415,9375 \times 10^3} = 0,26408115 \text{ Mpa} < f_r \dots\dots\dots \text{Ok}$$

#### 4.2.3.7 Penulangan Pelat yang Terpasang

Penulangan pelat yang terpakai atau yang akan dipasang adalah dipilih penulangan yang paling banyak dari ketiga keadaan diatas (keadaan sebelum komposit, akibat pengangkatan, sesudah komposit) yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4. 3** Penulangan Pelat

Tipe Pelat	Ukuran Pelat		Tulangan Terpasang		Stud	Panjang Penyaluran (mm)	Tulangan Angkat
	panjang (m)	lebar (m)	Tulangan Utama	Tulangan Pembagi			
A	1,2	3,5	Ø8-100	Ø8-250	Ø8-250	150	Ø8
B	1,5	3,5	Ø8-100	Ø8-250	Ø8-250	150	Ø8
C	1,2	4,5	Ø8-100	Ø8-250	Ø8-250	150	Ø8
D	1,2	3	Ø8-100	Ø8-250	Ø8-250	150	Ø8
E	1,5	3	Ø8-100	Ø8-250	Ø8-250	150	Ø8

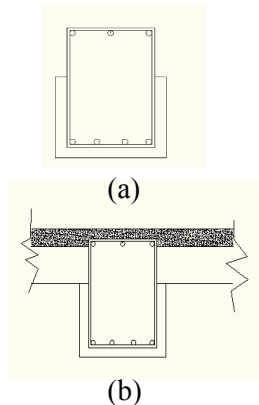
#### 4.3 Perencanaan Balok Anak Pracetak

Pada perencanaan balok anak, beban yang diterima oleh balok anak berupa beban persegi biasa. Itu dikarenakan pelat pracetak hanya menumpu dua titik tumpu, titik tumpu pertama ada dibalok induk serta titik tumpu yang kedua berada di balok anak.

#### 4.3.1 Data Perencanaan Balok Anak Pracetak

- Dimensi balok anak :  $30 \times 50$  cm
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 320 MPa
- Tulangan lentur : D19
- Tulangan sengkang :  $\emptyset 10$

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka tersapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.



**Gambar 4. 8** (a) Dimensi balok anak sebelum komposit,  
**Gambar 4. 9** (b) Dimensi balok anak saat pengecoran dan balok anak saat komposit

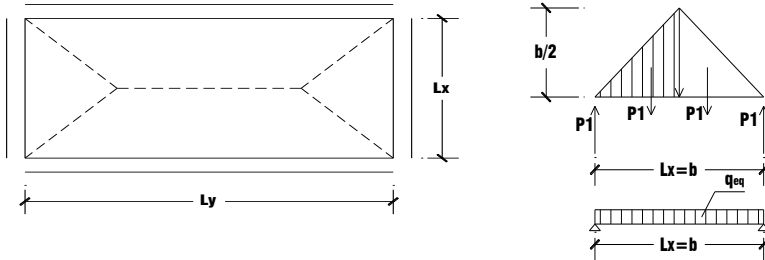
#### 4.3.2 Pembebanan Balok Anak Pracetak

Beban yang bekerja pada balok anak adalah berat sendiri dari balok anak tersebut dan semua beban merata yang terjadi pada pelat (termasuk berat sendiri pelat dan beban hidup merata yang berada diatas pelat). Distribusi beban pada balok pendukung sedemikian rupa sehingga dapat dianggap sebagai beban trapesium pada lajur yang panjang.

Beban-beban berbentuk trapesium tersebut kemudian diubah menjadi beban merata ekuivalen untuk mendapatkan



momen maksimumnya. Untuk mempermudah pemahaman pembebanan pada balok anak berikut disajikan gambar distribusi beban yang bekerja pada balok anak.



### Beban segitiga:

$$P = \frac{1}{2} \times b \times q_a$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \times b/2 \times P = \frac{1}{4} \times P \times b$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= P_1 \times (b/2 - 1/3 \times b/3) \\ &= (\frac{1}{4} \times P \times b) \times (b/3) \\ &= \frac{1}{4} \left( \frac{1}{2} \times b \times q_a \right) \times b \times b/3 \end{aligned}$$

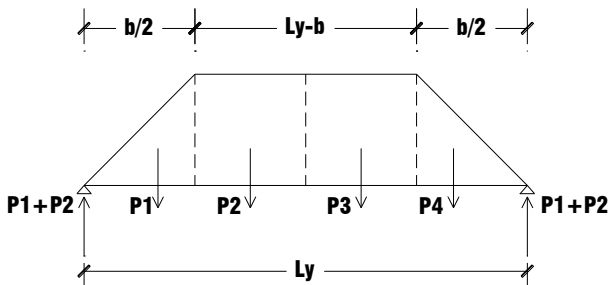
$$M_{eq \max} = \frac{1}{8} \times q_{eq} \times b$$

$$M_{\max} = M_{eq \max}$$

$$\frac{1}{24} \times q_a \times b^2 = \frac{1}{8} \times q_{eq} \times b^2$$

$$q_{eq} = \frac{1}{3} \times q_u \times b$$

$$q_{eq} = \frac{1}{3} \times q_u \times Lx$$



### Beban trapesium

$$x = (P_1 + P_2) \times Ly/2 - P_1 (Ly/2 - \frac{2}{3} \cdot b/2) - P_2 (Ly - b) \cdot 1/2$$

Dimana :

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot P \cdot b/2$$

$$P_2 = \frac{P \cdot (Ly - b)}{2}$$

$$M_{eq-max} = \frac{1}{8} \cdot q_{eq} \cdot Ly^2$$

$$M_{max} = M_{eq-max}$$

$$q_{eq} = \frac{1}{2} \times q_u \times Lx (1 - \frac{1}{3} \cdot Lx^2/Ly^2)$$

#### 4.2.2.1 Perhitungan Pembebanan Balok Anak

##### ➤ Sebelum Komposit

$$Ly = 350 - (50/2 + 50/2) = 300 \text{ cm}$$

$$Lx = 900 - (50/2 + 50/2) = 850 \text{ cm}$$

- Beban mati ( $Q_{DL}$ )

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times 0,38 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 273,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q \text{ pelat sebelum komposit} &= 0,07 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 168 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{pelat} &= 2 \times \frac{1}{3} \times q_u \times Lx \\ &= \{2 \times \frac{1}{3} \times 168 \times 8,5\} \\ &= 748 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Kombinasi Beban

$Q_u$  sebelum komposit

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times (273,6 + 748) + 1,6 \times 0 \\ &= 1225,92 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

➤ **Sesudah Komposit**

- Beban mati ( $Q_{DL}$ )

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri balok anak} &= 0,3 \times 0,38 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 273,6 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q \text{ pelat sesudah komposit} &= 0,12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{pelat}} &= 2 \times \frac{1}{3} \times q_u \times L_x \\ &= \{2 \times \frac{1}{3} \times 288 \times 8,5\} \\ &= 1632 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Beban hidup ( $Q_{LL}$ )

$$\text{Beban pekerja} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{ekuivalen}} &= 2 \times \frac{1}{3} \times q_u \times L_x \\ &= \{2 \times \frac{1}{3} \times 200 \times 8,5\} \\ &= 1133,333333 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

- Kombinasi beban

$Q_u$  sesudah komposit

$$\begin{aligned}Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 \times (273,6 + 1632) + 1,6 \times 1133,33 = 4100 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

#### 4.3.2.2 Perhitungan Momen dan Geser

Perhitungan momen dan gaya lintang sesuai dengan ikhtisar momen – momen dan gaya melintang dari SNI 2847:13 pasal 8.3.3.

➤ Momen sebelum komposit

$$\begin{aligned}M_{\text{lapangan}} &= \frac{1}{16} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 1225,92 \times 9^2 \\ &= 6206,22 \text{ kgm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= \frac{1}{2} \times q \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 1225,92 \times 9 \\ &= 5516,64 \text{ kg}\end{aligned}$$

➤ Momen sesudah komposit

$$\begin{aligned} M_{lapangan} &= \frac{1}{16} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 4100 \times 9^2 \\ &= 20756,52 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tumpuan} &= \frac{1}{24} \times q \times L^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 4100 \times 9^2 \\ &= 13837,68 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \times q \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 4100 \times 9 \\ &= 12710,16 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 4.3.3 Perhitungan Tulangan Lentur Balok Anak

#### 4.3.3.1 Perhitungan tulangan sebelum komposit

Dimensi balok anak	= 30/38
Tebal selimut beton	= 40 mm
Diameter tulangan utama	= 19 mm
Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 320 Mpa
Luas Tulangan	= 283,528737 mm <sup>2</sup>
d	= 380 – 40 – 8 – ½ (19) – 10 = 320,5 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right)$$

$$= 0,0434$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f'c}}{fy} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428\end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,004375

### **Tulangan lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 6206,22 \text{ kgm} = 62062200 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{62062200}{0,9 \times 300 \times 320,5^2} = 2,24$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 2,24}{320}} \right) = 0,007330025\end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,004375 > \rho_{\text{perlu}} = 0,007330025$  sehingga  
maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,007330025$  sehingga didapatkan tulangan  
perlu sebesar:

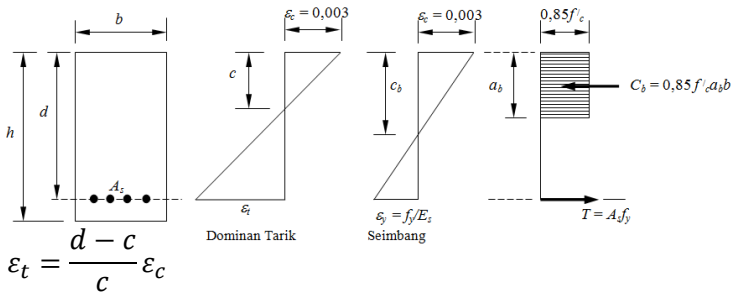
$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,007330025 \times 300 \times 320,5 = 704,7819493 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}} \\ &= \frac{704,7819493}{283,528737} = 2,48575138 \approx 3 \text{ tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 3 \times 283,52873 \text{ mm}^2 \\ &= 850,586211 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{ OK}\end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D19

### Kontrol



Menurut SNI 2847:13 ps.10.3.5 bahwa kuat lentur nominal beton harus sama dengan atau lebih dari 0,004.

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{A_s x f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b}$$

$$= \frac{850,586211 \times 320}{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 300}$$

$$= 21,05513658$$

Sehingga nilai,

$$\varepsilon_t = \frac{320,5-21}{21} 0,003 = 0,042665816 \text{ (Dominan Tarik)}$$

Dari grafik regangan diperoleh nilai faktor reduksi sebesar  $\phi = 0,9$ .

#### ➤ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

Dimensi balok anak	= 30/50
Tebal selimut beton	= 40 mm
Diameter tulangan utama	= 19 mm
Diameter tulangan sengkang	= 10 mm
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 320 Mpa
$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2}(13)$	= 440,5 mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right)$$

$$= 0,0434$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,004375

### **Tulangan lapangan**

$$M_{\text{lapangan}} = 20756,52 \text{ kgm} = 207565200 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{207565200}{0,9 \times 300 \times 440,5^2} = 3,961858429$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 3,961858429}{320}} \right) = 0,013529307$$

$$\rho_{\min} = 0,004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0,013529307$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,013529307$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,013529307 \times 300 \times 440,5 = 1787,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD19}}$$

$$= \frac{1787,9}{283,52} = 6,30 \approx 7 \text{ tulangan}$$

As pasang = jumlah tulangan  $\times$  A D19

$$= 7 \times 283,52 \text{ mm}^2$$

$$= 1984,701159 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ..... OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 7D19

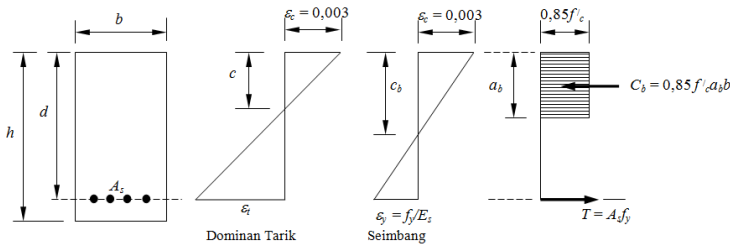
Untuk tulangan tekan diambil

$$0,5 \times A_s \text{ pasang} = 0,5 \times 1984,701159$$

$$= 992,3505795 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan tekan sebanyak 4D19 ( $A_s=1134,115 \text{ mm}^2$ )

### Kontrol



$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \epsilon_c$$

Menurut SNI 2847:13 ps.10.3.5 bahwa kuat lentur nominal beton harus sama dengan atau lebih dari 0,004.

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b}$$

$$= \frac{1984,701159 \times 320}{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 300}$$

$$= 28,93849506$$

Sehingga nilai,

$$\epsilon_t = \frac{440,5 - 28,93849506}{28,93849506} 0,003 = 0,042665816 \text{ (Dominan Tarik)}$$



Dari grafik regangan diperoleh nilai faktor reduksi sebesar  $\phi = 0,9$ .

### **Tulangan tumpuan**

$$M_{\text{lapangan}} = 13837,68 \text{ kgm} = 138376800 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{138376800}{0,9 \times 300 \times 440,5^2} = 2,641238953$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 2,641238953}{320}} \right) = 0,008732325$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0,008732325$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,004375$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,008732325 \times 300 \times 440,5 = 1153,977 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD19}}$$

$$= \frac{1153,977}{283,52} = 4,070052192 \approx 5 \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D19}$$

$$= 5 \times 283,52 \text{ mm}^2$$

$$= 1417,643685 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ..... OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 5D19

Untuk tulangan tekan diambil

$$0,5 \times A_s \text{ pasang} = 0,5 \times 1417,643685$$

$$= 708,8218425 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan tekan sebanyak 3D19 ( $A_s = 850,58 \text{ mm}^2$ )

### **4.3.3.2 Perhitungan Tulangan Geser**

#### **➤ Perhitungan tulangan sebelum komposit**

$$V_u = 5516,64 \text{ kg} = 55,1664 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c'} x b_w x d \\
 V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f_c'} x b_w x d \\
 &= \frac{1}{6} x \sqrt{30} x 300 x 320,5 \\
 &= 87,77 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_c &= 0,6 x 87,77 \\
 &= 52,66 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \emptyset 0,5V_c &= 0,5 x 52,66 \\
 &= 26,33 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Karena  $V_c > V_u > 0,5\emptyset V_c$  maka dibutuhkan tulangan geser minimum. Dipakai tulangan  $\emptyset 10$  mm dengan mutu baja BJTP-240 ( $f_y = 240$  MPa)

$$\begin{aligned}
 V_{s \min} &= \frac{V_u}{\emptyset} \\
 V_{s \min} &= \frac{55,1664}{0,75} = 73,5552 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$A_v = 2 A_s$$

$$A_s \emptyset 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 x 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$\begin{aligned}
 s_{max} &= \frac{A_v x f_y x d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 x 240 x 320,5}{12,852} \\
 &= 218,9093361 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:13 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih  $d/2$  sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 320,5/2 = 160,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis  $\emptyset 10$ -150 mm.

#### ➤ **Perhitungan tulangan sesudah komposit**

$$V_u = 12710,16533 \text{ kg} = 127,1016533 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} x b_w x d \\
 V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} x b_w x d \\
 &= \frac{1}{6} x \sqrt{30} x 300 x 440,5 \\
 &= 120,6358933 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,6 x 120,6358933 \\
 &= 72,38153597 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi 0,5V_c &= 0,5 x 72,38153597 \\
 &= 36,19076799 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Karena  $V_u > V_c > 0,5\phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

$$\begin{aligned}
 V_{s \min} &= \frac{V_u}{\phi} \\
 V_{s \min} &= \frac{127,1016533}{0,75} = 169,4688711 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$A_v = 2 A_s$$

$$A_s \text{ } \phi 10 = 78,54 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 2 x 78,54 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$\begin{aligned}
 s_{\max} &= \frac{A_v x f_y x d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 x 320 x 420,5}{12,852} \\
 &= 130,5887025 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:13 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih  $d/2$  sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2$$

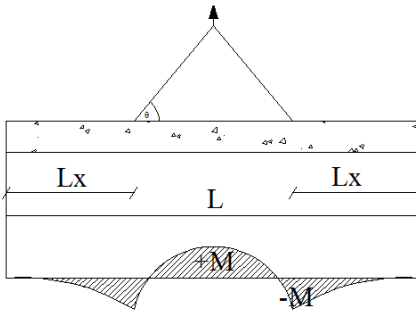
$$\leq 440,5/2 = 220,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis  $\phi 10$ -100 mm

#### 4.3.4 Pengangkatan Balok Anak

Balok anak dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses

pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



**Gambar 4. 10** Momen saat pengangkatan balok anak

Dimana :

$$M+ = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2} \quad X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left( 1 + \frac{Y_c}{Lx \operatorname{tg} \theta} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 38 \text{ cm}$$

$$L = 900 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{(50-12)}{2} = 19 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 30 \times 38^2 = 137180 \text{ cm}^4$$

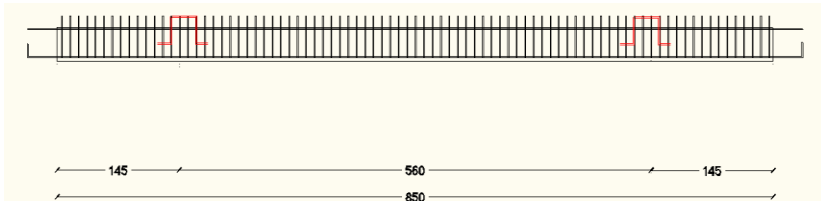
$$Y_c = Y_t + 5 = 24 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 24}{900 \times \tan 45}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{19}{19} \left( 1 + \frac{4 \times 24}{900 \times \tan 45} \right)} \right)}$$

$$= 0,18663325$$

$$X \times L = 0,18663325 \times 9,0 = 1,679699253 \text{ m} = 170 \text{ cm}$$

$$L - 2x(X \times L) = 9 - (2 \times 1,686917269) = 5,640601493 \text{ m} = 560 \text{ cm}$$



**Gambar 4. 11** Letak titik pengangkatan

**a. Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,3 \times 0,38 \times 9 \times 2400) = 2462,4 \text{ kg}$$

$$T \sin \emptyset = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2462,4}{2 \sin 45}$$

$$= 2507,298823 \text{ kg}$$

**b. Tulangan angkat balok anak**

$$P_u = 2507,298823 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang adalah  $f_y/1,5$ . Jika dipakai tulangan polos dengan mutu  $f_y = 240 \text{ Mpa}$ , maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/mm}^2$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{2507,298823}{1600 \times \pi}}$$

$$\emptyset_{\text{tulangan angkat}} \geq 0,706265709 \text{ mm}$$

Digunakan Tulangan  $\emptyset 10 \text{ mm}$

### c. Momen yang Terjadi

#### Pembebanan

Balok  $(0,3 \times 0,38 \times 2400) = 273,6 \text{ kg/m}$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

#### Momen lapangan

$$M+ = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_C}{L \times t g \theta} \right)$$

$$M+ = \frac{273,6 \times 9^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,18663325 + \frac{4 \times 0,24}{9 \times t g 45} \right) \times 1,2$$

$$= 1197,17 \text{ kgm}$$

#### Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{11971700}{\frac{1}{6} \times 300 \times 380^2}$$

$$= 1,658131212 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa (OK)}$$

#### Momen tumpuan

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$= \frac{273,6 \times 0,18663325^2 \times 9^2}{2} \times 1,2$$

$$= 463,1593138 \text{ kgm}$$

#### Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{4631593,138}{\frac{1}{6} \times 300 \times 380^2}$$

$$= 0,347369485 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai  $f'$  akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai  $f'_{r_{ijin}}$  usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

### 4.3.5 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:13, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{min} = \frac{1}{16} x lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih besar dari persyaratan  $h_{min}$ .

## 4.4 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan ini, struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi ujung perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Struktur tangga ke atas dan ke bawah tipikal.

### 4.4.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan untuk merencanakan konstruksi tangga adalah sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 Mpa
- Tinggi antar lantai = 400 cm
- Panjang bordes = 200 cm
- Lebar bordes = 300 cm
- Lebar tangga = 150 cm
- Tebal pelat tangga (tp) = 20 cm
- Tebal pelat bordes = 20 cm
- Tinggi injakan ( t ) = 20 cm
- Lebar injakan ( i ) = 25 cm
- Jumlah tanjakan ( $n_T$ ) =  $\frac{\text{Tinggi Lantai}}{t}$   
= 20 buah
- Jumlah injakan ( $n_i$ ) =  $n_T - 1 = 19$  buah

- Jumlah tahanan ke bordes = 10 buah
- Jumlah tahanan dari bordes ke lantai 2 = 10 buah
- Elevasi bordes = 200 cm
- Panjang horizontal plat tangga =  $i \times \text{jumlah injakan bordes}$   
 $= 25 \times 10 = 250 \text{ cm}$
- Kemiringan tangga ( $\alpha$ )

$$\tan \alpha = \frac{\text{elevasi bordes}}{\text{panjang horizontal plat tangga}} = \frac{200}{250} = 0,476$$

Jadi,  $\alpha = 38,7^\circ$

Cek syarat :

$$60 \leq (2t + i) \leq 65$$

$$60 \leq (2 \times 20 + 25) \leq 65$$

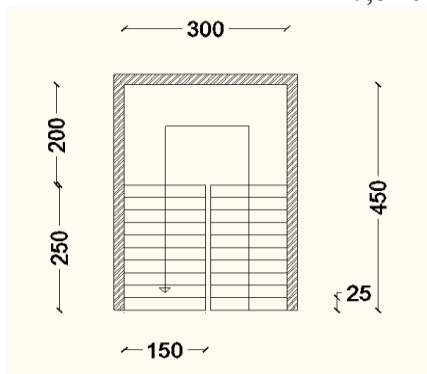
$$60 \leq 65 \leq 65 \dots \dots \dots (\text{OK})$$

$$25 \leq \alpha \leq 40$$

$$25 \leq 38,7^\circ \leq 40 \dots (\text{OK})$$

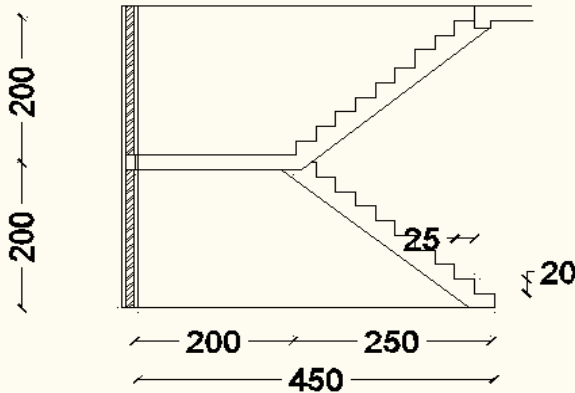
$$\begin{aligned} \text{Tebal plat rata-rata anak tangga} &= (i/2) \sin \alpha \\ &= (25/2) \sin 38,7^\circ \\ &= 7,82 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal plat rata-rata} &= t_p + t_r = 20 + 7,82 \\ &= 27,82 \text{ cm} \approx 28 \text{ cm} \end{aligned}$$



**Gambar 4. 12** Perencanaan tangga tampak atas





**Gambar 4. 13 Potongan tangga**

#### 4.4.2 Perhitungan Pembebanan dan Analisa Struktur

##### a. Pembebanan Tangga

##### Beban Mati (DL)

$$\begin{aligned} \text{Pelat tangga} &= \frac{\text{tebal pelat rata rata} \times \gamma \text{ beton} \times 1m}{\cos \alpha} \\ &= \frac{0,28 \times 2400 \times 1}{\cos 38,7} = 861 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Tegel horizontal} = 24 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegel vertikal} &= \frac{\text{beban tegel} \times 1m}{\cos \alpha} \\ &= \frac{24 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m}}{\cos 38,7} = 30,75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Spesi horizontal (2 cm)} = 42 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Spesi vertical (2 cm)} &= \frac{\text{beban spesi} \times 1m}{\cos \alpha} \\ &= \frac{21 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} \times 2}{\cos 38,7} = 53,82 \text{ kg/m} \\ &= 42 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Sandaran} = 50 \text{ kg/m} +$$

$$\text{Total (DL)} = 1043 \text{ kg/m}$$

**Beban Hidup (LL):**  $1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (1043) + 1,6 (500) \\ &= 2051,68 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

#### b. Pembebanan Pelat Bordes

**Beban Mati (DL)**

Pelat bordes	$= 0,2 \times 2400 \times 1 \text{ m}$	$= 480 \text{ kg/m}$
Spesi	$= 2 \times 21 \times 1 \text{ m}$	$= 42 \text{ kg/m}$
Tegel	$= 24 \times 1 \text{ m}$	$= 24 \text{ kg/m} +$
Total (LL)		$= 546 \text{ kg/m}$

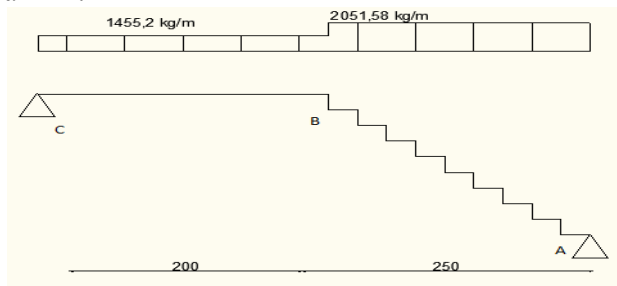
**Beban Hidup (LL):**  $1 \text{ m} \times 500 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg/m}$

Kombinasi Beban:

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (546) + 1,6 (500) \\ &= 1455,2 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

#### 4.4.3 Analisa Gaya-Gaya Dalam

Pada proses analisa struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tak tentu dengan menggunakan perletakan Sendi-Rol, dimana pembebanan tangga dan output seperti dibawah ini :



**Gambar 4. 14** Sketsa beban pada tangga

- $\sum M_A = 0$   
 $(R_C \times 4.5) - (q_1 \times 2 \times (1+2.5)) - (q_2 \times 2.5 \times 1.25)$

$$R_C = 3688,42 \text{ kg}$$

- $\sum M_C = 0$   
 $(R_A \times 4.5) - (q_2 \times 2.5 \times (1.25+2)) - (q_1 \times 2 \times 1)$

$$R_A = 4351,17 \text{ kg}$$

- $\sum H = 0$   
 $H_A = 0$

#### Kontrol

- $\sum V_A = 0$   
 $R_A + R_C - (q_2 \times 2) - (q_1 \times 3) = 0$   
 $4351,17 + 3688,42 - (1455,2 \times 2) - (2051,68 \times 2,5) = 0$   
 $0 = 0 \dots\dots (\text{OK})$

#### Pelat Bordes C-B (2 m)

##### a. Gaya Momen (M)

$$Mx_1 = R_C \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

$$M_C = 0$$

$$M_B = R_C \times x_1 - \frac{1}{2} q_1 \times x_1^2$$

$$M_B = 3688,42 \times 2 - \frac{1}{2} \times 1455,2 \times 2^2$$

$$= 4466,44 \text{ kgm}$$

##### b. Gaya Lintang (D)

$$\text{Titik C} \quad D_{C \text{ kanan}} = R_C = 3688,42 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B} \quad D_{B \text{ kiri}} = R_C - (q_1 \times 2) = 778,02 \text{ kg}$$

##### c. Gaya Normal (N)

$$N_{C-B} = 0 \text{ kg}$$

#### Pelat A-B (2,5 m)

##### a. Gaya Momen (M)

$$Mx_2 = R_A \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2$$

Momen maksimum apabila :

$$R_A - q_1 \times x = 0$$

$$X = \frac{4351,17}{2051,68} = 2,12 \text{ m}$$

Momen maksimum terjadi di titik  $x = 2,12 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= R_A \times x - \frac{1}{2} q_2 \times x^2 \\ &= 4351,17 \times 2,12 - \frac{1}{2} \times 2051,68 \times 2,12^2 \\ &= 4613,95 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Titik A,  $M_A = 0 \text{ kgm}$

$$\begin{aligned} M_B &= R_A \times x_2 - \frac{1}{2} q_2 \times x_2^2 \\ &= 4351,17 \times 2,5 - \frac{1}{2} \times 2051,68 \times 2,5^2 \\ &= 4466,438872 \text{ kgm} \end{aligned}$$

b. Gaya Lintang (D)

$$D_x = R_A \times \cos 38,7^\circ - (q_1 \cos 36,7^\circ \times x_2)$$

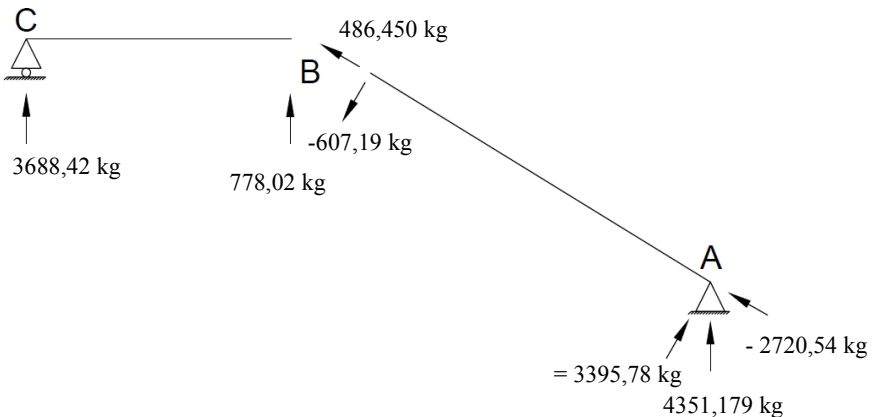
$$\text{Titik A } (X_2 = 0) ; D_A = R_A \times \cos 38,7^\circ = 3395,78 \text{ kg}$$

$$\text{Titik B } (X_2 = 3\text{m}) ; D_B = -607,19 \text{ kg}$$

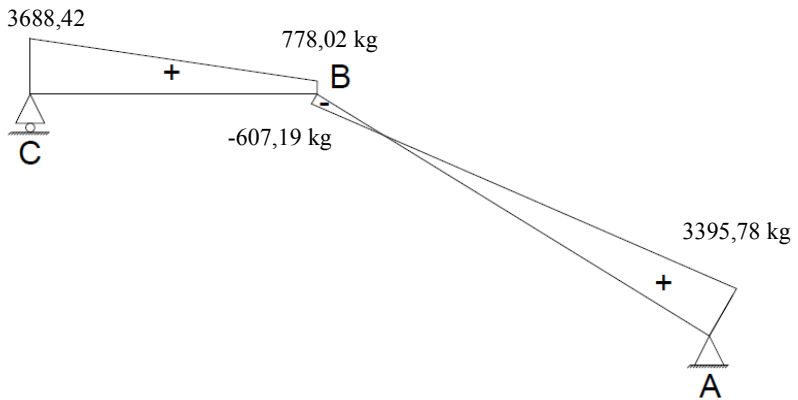
c. Gaya Normal (N)

$$\begin{aligned} \text{Titik A: } N_A &= -R_A \sin 38,7^\circ = -4351,17 \times \sin 38,7^\circ \\ N_A &= -2720,54 \text{ kg} \end{aligned}$$

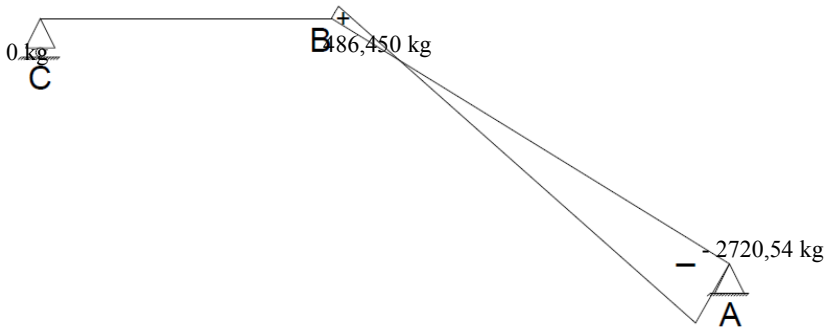
$$\begin{aligned} \text{Titik B: } N_B &= -R_A \sin 38,7^\circ + q_2 \sin 38,7^\circ \times 2,5 \text{ m} \\ N_B &= -4351,17 \sin 38,7^\circ + 2051,68 \sin 38,7^\circ \times 2,7 \\ N_B &= 486,450 \text{ kg} \end{aligned}$$



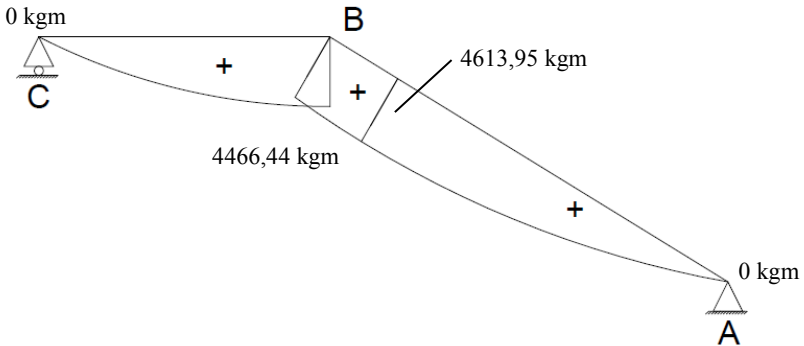
**Gambar 4. 15** Free body diagram gaya-gaya pada tangga



**Gambar 4. 16** Bidang lintang (D) pada tangga



**Gambar 4. 17** Bidang normal (N) pada tangga



**Gambar 4. 18** Bidang momen (M) pada tangga

#### 4.4.4 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes

##### ▪ Perhitungan Penulangan Pelat Tangga

Data – Data Perencanaan

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa

Berat jenis beton = 2400 kg/m<sup>3</sup>

D tulangan lentur = 13 mm

Tebal pelat tangga = 200 mm

Tebal pelat bordes = 200 mm

Tebal selimut beton = 20 mm

$d = 200 - 20 - 10 - \frac{1}{2}(13) = 173,5 \text{ mm}$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30-28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\frac{0,85 \times 0,836 \times 40}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right)$$

$$= 0,0434$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{320} = 0,0043\end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0044

### **Penulangan pelat tangga**

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 4613,96 \text{ kgm} = 46139558,9 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{46139558,9}{0,9 \times 1000 \times 173,5^2} = 1,70307$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,70307}{320}} \right) = 0,0056\end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,0044 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0056$  sehingga

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0056 > \rho_{\min} = 0,0044$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0056$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{s\text{perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0056 \times 1000 \times 173,5 = 765 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD13}}$$

$$= \frac{765}{132,7323} = 5,76 \approx 6 \text{ tulangan}$$

$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D13}$

$$= 6 \times 132,732 \text{ mm}^2$$

$$= 796,394 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.6.5 adalah:

Jarak tulangan minimum,  $S \leq 3 \times \text{tebal pelat}$ , maka:

$$\leq 3 \times 200$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/6 = 173 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots\dots (\text{OK})$

Maka digunakan tulangan susut D13-150 mm.

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\min} = 0,0018$  (SNI 2847:13 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,0018 \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 173,5 = 312 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 200 \\ &\leq 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD13}} \\ &= \frac{312}{132,7323} = 2,35 \approx 3 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D13} \\ &= 3 \times 132,732 \text{ mm}^2 \\ &= 398,2 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ..... OK} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D13

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \text{ ..... (OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut D13-300 mm.

### **Penulangan pelat bordes**

➤ Tulangan utama

$$M_{\max} = 4466,44 \text{ kgm} = 44664388,72 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{44664388,72}{0,9 \times 1000 \times 173,5^2} = 1,64862$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,64862}{400}} \right) = 0,0043 \end{aligned}$$



$\rho_{\min} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0043$  sehingga  
 $\rho_{\text{perlu}} = 0,0044 > \rho_{\min} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0043$   
 sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0043 \times 1000 \times 173,5 = 740 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD13}} \\ &= \frac{740}{132,7323} = 5,57 \approx 6 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 6 \times 132,732 \text{ mm}^2 \\ &= 796,394 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{perlu}}} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.6.5 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 3 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 3 \times 200 \\ &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/6 = 173 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots \text{(OK)}$$

Maka digunakan tulangan susut D13-150 mm.

➤ Penulangan lentur arah melintang pelat

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan  $\rho_{\min} = 0,0018$  (SNI 2847:13 pasal 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= 0,002 \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \times 173,5 = 312 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:13 pasal 7.12.2.2 adalah:

$$\begin{aligned} \text{Jarak tulangan minimum, } S &\leq 5 \times \text{tebal pelat, maka:} \\ &\leq 5 \times 200 \\ &\leq 1000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD13}} \\ &= \frac{312}{132,7323} = 2,35 \approx 3 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\
 &= 3 \times 132,732 \text{ mm}^2 \\
 &= 398,2 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} \dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D13

$$\text{Jarak tulangan, } S = 1000/3 = 333,33 \text{ mm} < S_{\text{maks}} \dots\dots (\text{OK})$$

Maka digunakan tulangan susut D13-300 mm.

#### ▪ Perencanaan dimensi balok bordes

$$h_{\min} = \frac{L}{16} = \frac{300}{16} = 18,75 \text{ diambil } 30 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3}30 = 20 \text{ cm}$$

pakai dimensi balok bordes 20/30

#### ▪ Pembebanan Balok Bordes

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri balok} = 0,2 \times 0,3 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat dinding} = 2 \times 250 = 500 \text{ kg/m} +$$

$$q_d = 644 \text{ kg/m}$$

$$q_d \text{ ultimate} = 1,2 \times q_d = 1,2 \times 644 = 772,8 \text{ kg/m}$$

$$\text{beban pelat bordes} = 3688,42 \text{ kg/m} +$$

$$q_u = 4461,22 \text{ kg/m}$$

$$\text{Momen tumpuan} = \frac{1}{24} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{24} \times 4461,22 \times 3,2^2$$

$$= 1903,453626 \text{ kgm}$$

$$= 19034536,26 \text{ Nmm}$$

$$\text{Momen lapangan} = \frac{1}{12} \times q_u \times L^2$$

$$= \frac{1}{12} \times 4461,22 \times 3,2^2$$

$$= 3806,907252 \text{ kgm}$$

$$= 38069072,52 \text{ Nmm}$$

$$V_u \text{ total} = 0,5 \times q_u \times L = 0,5 \times 4461,22 \times 3,2 = 7137,95 \text{ kg}$$

### ▪ Penulangan Lentur Balok Bordes

Direncanakan:

Diameter sengkang = 10 mm

Diameter tulangan utama = 13 mm

Sehingga,  $d = 300 - 40 - 10 - 13/2 = 243,5$  mm

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40-28)}{7} \geq 0,65 = 0,778$$

$$\rho_b = \frac{\frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{\frac{0,85 \times 0,836 \times 40}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}$$

$$= 0,0397$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,0034 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

### ➤ Penulangan Tumpuan

$$M_{\max} = 21149484,733 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{21149484,733}{0,9 \times 200 \times 173,5^2} = 1,78349$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,78349}{400}} \right) = 0,0046 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0046$  sehingga

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0046 > \rho_{\min} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0046$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0046 \times 200 \times 243,5 = 225,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD13}} \\ &= \frac{225,3}{132,7323} = 1,7 \approx 2 \text{ tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 2 \times 132,732 \text{ mm}^2 \\ &= 265,464 \text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} \dots\dots \text{OK}\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan atas 2D13

$$\begin{aligned}\text{As' perlu} &= 0,5 \times A_{s\text{perlu}} \\ &= 112,66 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD13}} \\ &= \frac{112,66}{132,7323} = 0,84876341 \approx 2 \text{ tulangan}\end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan bawah 2D13

### ➤ Penulangan Lapangan

$$M_{\max} = 42298969,467 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{42298969,467}{0,9 \times 200 \times 173,5^2} = 3,56699$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 3,56699}{400}} \right) = 0,0096\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0096$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0096 > \rho_{\min} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,0096$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0096 \times 200 \times 243,5 = 225,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{sD13}}$$

$$= \frac{469,83}{132,7323} = 3,54 \approx 4 \text{ tulangan}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D19} \\ &= 4 \times 132,732 \text{ mm}^2 \\ &= 530,9291585 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan atas 4D13

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= 0,5 \times A_{s_{perlu}} \\ &= 265,4645792 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{sD13}} \\ &= \frac{265,4645792}{132,7323} = 2 \approx 3 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan bawah 3D13

#### ▪ Penulangan Geser Balok Bordes

$$V_u = 71380 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{40} \times 200 \times 243,5 = 51334 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 51334 = 38501 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 38501 = 19250 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 200 \times 243,5 = 16233,33 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5(5.1): Bila  $V_u$  kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\phi V_c$ , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena  $\phi V_c < V_u$  maka diperlukan tulangan geser.

$$V_{s \text{ perlu}} = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c = 44168 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser Ø10 mm

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:13 Pasal 11.5.4 ketentuan jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 243,5}{44168} \\ &= 346,39 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= d/2 \\ &= 243,5/2 \\ &= 121,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10 – 100 mm

## 4.5 Perencanaan Balok Lift

### 4.5.1 Data Perencanaan

Perencanaan yang dilakukan pada lift ini meliputi balok-balok yang berkaitan dengan mesin lift. Pada bangunan ini digunakan lift penumpang yang diproduksi oleh SIGMA Elevator Company dengan data-data spesifikasi sebagai berikut:

Tipe Lift : IRIS NV Standard

Kapasitas : 680 Kg

Kecepatan : 1.0 m/s

Motor : 18.5 KW

Lebar pintu (*opening width*) : 800 mm

Dimensi sangkar (*car size*)

- *Car wide* (CW) : 1400 mm

- *Car depth* (CD) : 1250 mm

Dimensi ruang luncur (*hoistway size*) Duplex

- *Hoistway width* (HW) : 1800 mm

- *Hoistway depth* (HD) : 1900 mm

Beban reaksi ruang mesin

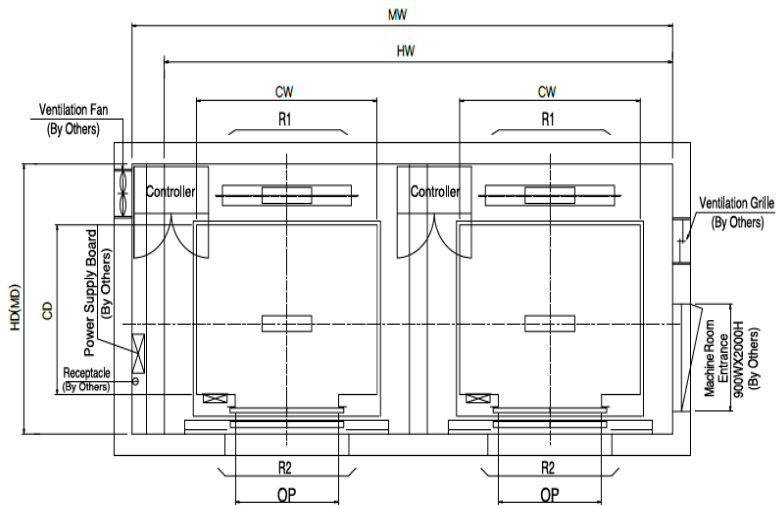
$R_1$  : 4200 kg

$R_2$  : 2850kg

Untuk lebih jelasnya mengenai spesifikasi lift berikut disajikan dalam tabel 4.4:

**Tabel 4. 4** Spesifikasi C300 Passenger Elevator

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.0	6	450	800	1400	850	1800	1500	3750	1500	1800	1500	3750	1500	3600	2000	3800	3150
	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4050	2500	4550	3350
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4100	2500	4700	3450
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4200	2850	5000	3650
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	4550	2900	5200	3750
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5100	3800	6300	4500
	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	5450	4300	6600	4700
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	8000	5200	9550	7150
			1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050				
	20	1350	1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400	8900	6000	10200	7500
			1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200				
	24	1600	1100	2000	1750	2550	2450	5250	2450	2550	2450	5250	2450	10200	7000	10950	8700
				2150	1600	2700	2300	5550	2300	2700	2300	5550	2300				



**Gambar 4. 19** Denah Lift

#### 4.5.2 Perencanaan Dimensi Balok Lift

##### ▪ Balok Penumpu Depan dan Belakang

Panjang balok penumpu = 450 cm

$$\begin{aligned}\text{Tinggi balok} &= 1/16 L \\ &= 1/16 \times 450 \\ &= 28,125 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar balok} &= 2/3 H_{\text{min}} \\ &= 2/3 \times 28,125 \\ &= 18,75 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dirancang dimensi balok 40/50 cm

##### ▪ Balok Penggantung Lift

Panjang balok penggantung lift = 320 cm

$$\begin{aligned}\text{Tinggi balok} &= 1/16 L \\ &= 1/16 \times 320 \\ &= 20 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar balok} &= 2/3 H_{\text{min}} \\ &= 2/3 \times 20 \\ &= 13,33 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dirancang dimensi balok 30/40 cm

#### 4.5.2.1 Pembebanan Lift

##### 1. Beban yang bekerja pada balok penumpu

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta luncur + perlengkapan, dan akibat bandul pemberat + perlangkapan.

##### 2. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pasal 3.3(3) PPIUG 1983 menyatakan bahwa beban keran yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau. Sebagai beban rencana harus diambil beban keran tersebut dengan mengalikannya dengan suatu koefisien kejut yang ditentukan dengan rumus berikut:

$$\Psi = v \times k_1 + v \times k_2$$



Dimana:

$\Psi$  = koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15.

$v$  = kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1,00 m/s.

$k_1$  = koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0,6

$k_2$  = koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keran angkatnya, dan diambil sebesar 1,3

Jadi, beban yang bekerja pada balok adalah:

$$P = \sum R \times \Psi = (4200 + 2850) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ = 12549 \text{ kg}$$

#### 4.5.2.2 Balok Penggantung Lift 30/40

##### a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ducting + Plumbing} = 30 \text{ kg/m}^2 + \\ = 418 \text{ kg/m}^2$$

$$Q = 418 \times 1,9 \text{ m} = 794,2 \text{ kg/m}$$

$$\text{Akibat balok} = 0,3 \times 0,4 \times 2400 = 288 \text{ kg/m} + \\ Q_d = 1082,2 \text{ kg/m}$$

Beban Hidup ( $q_1$ ):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_L \\ = 1,2 \times 1082,2 + 1,6 \times 100 \\ = 1458,64 \text{ kg/m}$$

Beban terpusat lift  $P = 12549 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} V_u &= 0,5 \times q_u \times L + 0,5 P \\ &= 0,5 \times 1458,64 \times 3,2 + 0,5 \times 12549 \\ &= 8608,324 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan} &= \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 + \frac{1}{4} \times P \times L \\ &= \frac{1}{8} \times 1458,64 \times 3,2^2 + \frac{1}{4} \times 12549 \times 3,2 \\ &= 11906,2592 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.5.2.3 Data Perencanaan:

$$f_c' = 40 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \emptyset 10 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 13 = 443,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40-28)}{7} \geq 0,65 = 0,778$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{\frac{0,85 \times 0,836 \times 40}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}$$

$$= 0,0397$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,0034 \end{aligned}$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

#### 4.5.2.4 Perhitungan Tulangan Lentur

$$M_{\max} = 11906,2592 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi x b x dx^2} = \frac{11906,2592}{0,9 x 400 x 443,5^2} = 1,68146$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 x m x R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 x 15,69 x 1,68146}{400}} \right) = 0,0044\end{aligned}$$

$$\rho_{min} = 0,0035 < \rho_{perlu} = 0,0044$$

$\rho_{perlu} = 0,0044 > \rho_{min} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{pakai} 0,0044$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho \times b \times d \\ 0,0044 \times 400 \times 443,5 &= 772 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{sperlu}}{A_{sD13}}$$

$$= \frac{772}{132,7323} = 5,81 \approx 6 \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{13}$$

$$= 6 \times 132,732 \text{ mm}^2$$

$$= 796,3937377 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan atas 6D13

Berdasarkan SNI 2847:13 ketentuan jarak maksimum tidak boleh melebihi 3h atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$\begin{aligned}s &= \frac{b}{n} = \frac{400}{6} \\ &= 69 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D13 – 30 mm

#### 4.5.2.5 Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 86083,24 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{40} \times 400 \times 443,5 = 186996 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 161943,3028 = 140247 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 161943,3028 = 70123,5 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 400 \times 443,5 = 59133,33333 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5(5.1): Bila  $V_u$  kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\phi V_c$ , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena  $\phi V_c > V_u$  maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$V_s \text{ perlu} = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) = 114778 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser Ø10 mm

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:13 Pasal 11.5.4 ketentuan jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 443,5}{114778} \\ &= 242,78 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= d/2 \\ &= 442,5/2 \\ &= 221,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10 – 200 mm

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 6D13
- Tulangan geser D10 – 200 mm

### 4.5.3 Balok Penumpu Depan dan Belakang Lift 40/50

#### a. Pembebanan

Beban mati lantai:

$$\text{Berat pelat} = 0,15 \times 2400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Aspal (t=2cm)} = 0,02 \times 1400 = 28 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ducting + Plumbing} &= 30 \text{ kg/m}^2 + \\ &= 418 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$Q = 418 \times 4,5/2 \text{ m} = 940,5 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat balok} &= 0,4 \times 0,5 \times 2400 = 360 \text{ kg/m} + \\ Q_d &= 1300,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban Hidup ( $q_l$ ):

$$Q_1 = 100 \text{ kg/m}$$

Beban berfaktor

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_l \\ &= 1,2 \times 1300,5 + 1,6 \times 100 \\ &= 1720,6 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban terpusat balok

$$\begin{aligned} P &= \sum R \times \Psi = (4200) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 7476 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 0,5 \times q_u \times L + 0,5 P \\ &= 0,5 \times 1720,6 \times 3,2 + 0,5 \times 7476 \\ &= 7609,35 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan} &= \frac{1}{8} \times q_u \times L^2 + \frac{1}{4} \times P \times L \\ &= \frac{1}{8} \times 1720,6 \times 4,5^2 + \frac{1}{4} \times 7476 \times 4,5 \\ &= 12765,76875 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 4.5.3.1 Data Perencanaan:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = D13 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = \emptyset 10 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 13 = 443,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(40-28)}{7} \geq 0,65 = 0,778$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\frac{0,85 \times 0,836 \times 40}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$= 0,0397$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{400} = 0,0034$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang paling besar yaitu 0,0035

#### 4.5.3.2 Perhitungan Tulangan Lentur

$$M_{\max} = 12765,76875 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{12765,76875}{0,9 \times 400 \times 443,5^2} = 1,80284$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,69} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 15,69 \times 1,80284}{400}} \right) = 0,0047$$

$$\rho_{\min} = 0,0035 < \rho_{\text{perlu}} = 0,0047$$

$\rho_{\text{perlu}} = 0,0047 > \rho_{\min} = 0,0035$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} 0,0047$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$0,0047 \times 400 \times 443,5 = 830 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD13}}$$

$$= \frac{830}{132,7323} = 6,25 \approx 7 \text{ tulangan}$$

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{13} \\ &= 7 \times 132,732 \text{ mm}^2 \\ &= 929,1260273 \text{ mm}^2 > \text{As perlu ..... OK} \end{aligned}$$

Maka dipasang tulangan tumpuan atas 6D13

Berdasarkan SNI 2847:13 ketentuan jarak maksimum tidak boleh melebihi 3h atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{n} = \frac{400}{7} \\ &= 67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \leq 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D13 – 50 mm

#### 4.5.3.3 Perhitungan Tulangan Geser

$$V_u = 76094 \text{ N}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 400 \times 443,5 = 186996 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 161943,3028 = 121457,4771 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_c = 0,5 \times 161943,3028 = 60728,73856 \text{ N}$$

$$V_{s \text{ min}} = \frac{1}{3} \times 400 \times 443,5 = 59133,33333 \text{ N}$$

Menurut SNI 03-2847-2013 Pasal 11.5(5.1): Bila  $V_u$  kurang dari setengah kuat geser yang disumbangkan oleh beton  $\phi V_c$ , maka tidak perlu diberi tulangan geser. Karena  $\phi V_c > V_u$  maka diperlukan tulangan geser minimum.

$$V_{s \text{ perlu}} = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) = 59133 \text{ N}$$

Diameter tulangan geser Ø10 mm

$$A_v = 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 157,08 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:13 Pasal 11.5.4 ketentuan jarak maksimum antar sengkang tertutup tidak boleh melebihi  $d/2$  atau 600 mm untuk komponen struktur non prategang

$$\begin{aligned} s &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 400 \times 443,5}{59133} \\ &= 471,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= d/2 \\ &= 442,5/2 \\ &= 221,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10 – 200 mm

Sehingga untuk perencanaan penulangan balok penggantung lift digunakan tulangan lentur dan tulangan geser dengan perincian sebagai berikut:

- Tulangan lentur 7D13
- Tulangan geser D10 – 200 mm

## 4.6 Pemodelan Struktur

### 4.6.1 Umum

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 2847:13 dan pembebanan gempa mengacu pada SNI 1726:12 yang di dalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

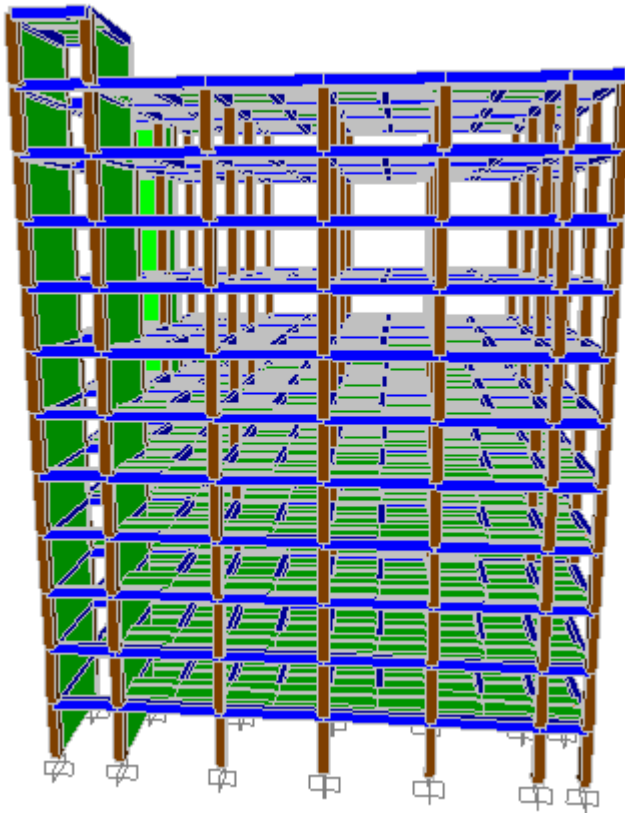
### 4.6.2 Data-Data Perencanaan

Data-data perancangan gedung Stikes RS Anwar Medika adalah sebagai berikut:

Mutu beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Mutu baja tulangan ( $f_y$ )	: 320 Mpa
Fungsi bangunan	: Sekolah
Jumlah tingkat	: 11 Lantai



Tinggi tiap tingkat	: 4 meter
Tinggi bangunan	: + 44 meter
Dimensi balok induk	: 50/70 cm
Dimensi balok anak	: 30/50 cm
Dimensi kolom	: 70/70 cm
Zona gempa	: Tinggi



**Gambar 4. 20** Permodelan 3D Struktur Utama

#### 4.6.3 Perhitungan Berat Struktur

Pembebanan gravitasi struktur pada Sistem Rangka Pemikul Momen hanya diterima oleh rangka. Pembebanan ini termasuk beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur.

##### • Pembebanan gravitasi pada lantai 1-13

###### Beban Mati (DL)

Rangka + Plafond	= 18	= 18 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Tegel (2 cm)	= 2 x 24	= 48 kg/m <sup>2</sup>
Sanitasi	= 20	= 20 kg/m <sup>2</sup>
Plumbing Ducting	= 10	= 10 kg/m <sup>2</sup> +
		DL= 138 kg/m <sup>2</sup>

##### • Pembebanan Pada Atap

###### Beban Mati (DL)

Rangka +Plafond	= 18	= 18 kg/m <sup>2</sup>
Spesi (2 cm)	= 2 x 21	= 42 kg/m <sup>2</sup>
Aspal	= 14	= 14 kg/m <sup>2</sup>
Plumbing Ducting	= 10	= 10 kg/m <sup>2</sup> +
		DL= 84 kg/m <sup>2</sup>

##### • Beban Hidup (LL)

Bedasarkan SNI 1727:13 Pasal 4.7.3 koefisien reduksi untuk beban hidup struktur yang menumpu dua lantai atau lebih sebesar 20%. Jadi total beban hidup:

$$\text{Beban hidup lantai} = 0,8 \times 250 = 200 \text{ kg.}$$

Perhitungan nilai total berat bangunan ini akan digunakan untuk menentukan gaya geser statik. Nilai tersebut digunakan untuk mengecek apakah perhitungan struktur gedung Stikes RS Anwar Medika Krian yang menggunakan pembebanan gempa dinamik gaya geser nya sudah mencapai 80% gaya geser statik.

Pada tugas akhir ini perhitungan berat struktur diambil dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 untuk kombinasi 1D+1L.

#### 4.6.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup sementara akibat dari pekerja bangunan. Sedangkan pada masa layan, beban-beban hidup permanen dari aktifitas pemakai gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja dengan faktor beban LRFD (*Load Resistance Factor Design*).

Kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung ini mengacu pada SNI 1726:12 bangunan tahan gempa sebagai berikut:

- 1,4 DL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL + 1,0 Ey
- 1,0 DL + 1,0 LL
- 0,9 DL + 1,0 Ex
- 0,9 DL + 1,0 Ey

Keterangan :

DL : beban mati

LL : beban hidup

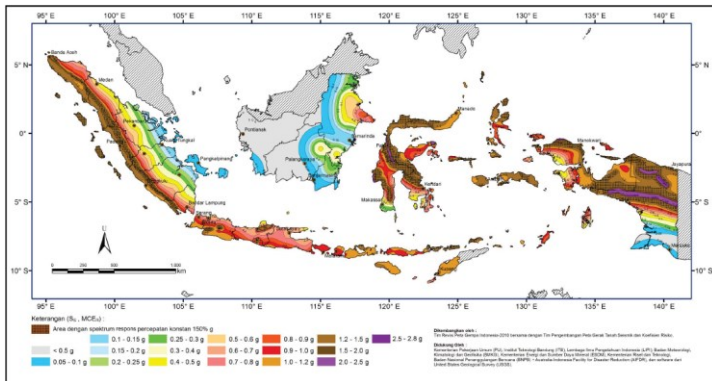
Ex : beban gempa arah x

Ey : beban gempa arah y

#### 4.6.5 Analisa Beban Gempa

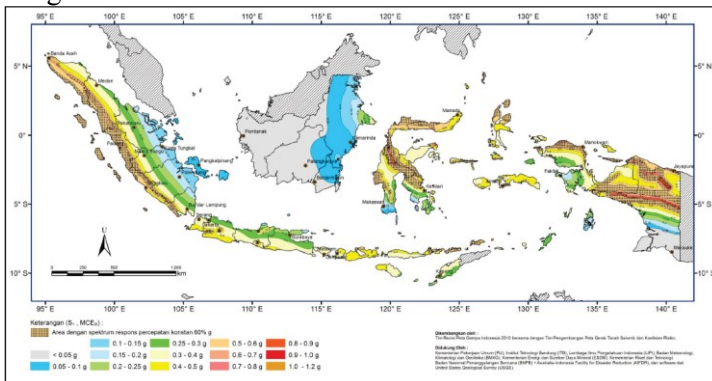
##### 4.6.5.1 Percepatan Respon Spektrum (MCE)

Penentuan wilayah gempa dapat dilihat pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22



**Gambar 4. 21** Peta untuk menentukan harga  $S_s$

Gempa Maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 0,2 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SE. Dari gambar 4.22 untuk daerah Krian didapatkan nilai  $S_s = 0,674$  g.



**Gambar 4. 22** Peta untuk menentukan harga  $S_1$

Gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko tersesuaian (MCER) parameter gerak tanah, untuk percepatan respons spektral 1 detik dalam g (5% redaman kritis), kelas situs SE. Dari gambar 4.23 untuk wilayah Krian  $S_1 = 0,265$  g.

Untuk nilai  $F_a$  (koefisien situs untuk periode 0,2 detik) dan  $F_v$  (koefisien situs untuk periode 1 detik) yang didapat dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

**Tabel 4. 5** Koefisien Situs  $F_a$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ Terpetakan Pada Periode Pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

**Tabel 4. 6** Koefisien Situs  $F_v$

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa $MCE_R$ Terpetakan Pada Periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

Dari data diatas diperoleh data-data sebagai berikut :

$S_s = 0,674$

$S_1 = 0,265$

$F_a = 1,352$  (Dengan cara interpolasi)

$$\begin{aligned}
 F_v &= 2,94 \\
 S_{MS} &= F_a \times S_s \quad (\text{SNI 1726:12 Pers. 6.2-1}) \\
 &= 1,352 \times 0,607 \\
 &= 0,911 \\
 S_{M1} &= F_v \times S_1 \quad (\text{SNI 1726:12 Pers. 6.2-2}) \\
 &= 2,8 \times 0,265 \\
 &= 0,84
 \end{aligned}$$

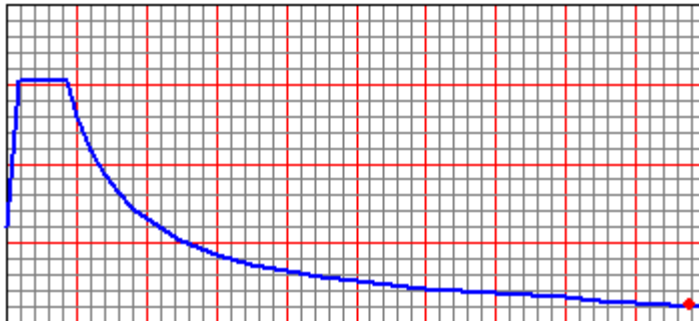
#### 4.6.5.2 Parameter Percepatan Respons Spektral

$$SD_1 = \frac{2}{3} SM_1 = 0,5194$$

(SNI 1726:12 Pers. 6.2-3)

$$SD_s = \frac{2}{3} SM_s = 0,6075$$

(SNI 1726:12 Pers. 6.2-4)



**Gambar 4. 23** Grafik Respon Spectrum Daerah Krian

Bangunan ini direncanakan akan dibangun di daerah By Pass Krian yang mempunyai parameter kecepatan respon spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen sebesar  $S_{DS} = 0,6075$  dan parameter percepatan respon spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh situs  $S_{D1} = 0,5194$ . Berdasarkan tabel 4.8 dan tabel 4.9 maka didapat kategori kota Krian mempunyai kategori resiko D.

**Tabel 4. 7** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 4. 8** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik

Nilai $S_{DI}$	Kategori risiko	
	I atau II atau II	IV
$S_{DI} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DI} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DI} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DI}$	D	D

Sistem yang dipilih harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:12 didapatkan bahwa kriteria desain yang tepat sesuai dengan kategori desain seismik yang ada adalah sebagai sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus yang mampu menahan 75 persen gaya gempa yang ditetapkan.

#### 4.6.6 Pembebanan Gempa Dinamis

Perhitungan beban gempa pada struktur Stikes Anwar Medika ditinjau dengan pengaruh gempa dinamik sesuai SNI 1726:12. Analisisnya dilakukan berdasarkan analisis respon dinamik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan.

#### 4.6.6.1 Arah pembebanan

Beban gempa yang bekerja pada struktur bangunan terjadi dalam arah sembarang (tidak terduga) baik dalam arah x dan y secara bolak-balik dan periodikal. Untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

- Gempa Respon Spektrum X :  
100% efektivitas untuk arah X dan 30% efektivitas arah Y
- Gempa Respon Spektrum Y :  
100% efektivitas untuk arah Y dan 30% efektifitas arah X

#### 4.6.6.2 Faktor Reduksi Gempa (R)

Gedung ini direncanakan dengan sistem rangka beton pracetak pemikul momen menengah. Berdasarkan tabel 9 SNI 1726:12 didapatkan nilai faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) = 5 nilai koefisien modifikasi respon ( $R$ ) = 6,5 dan nilai faktor kuat lebih sistem ( $\Omega$ ) = 2,5

#### 4.6.6.3 Faktor Keutamaan (I)

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Gedung ini direncanakan sebagai bangunan perkantoran. Pada tabel 1 SNI 1726:12 bangunan ini termasuk kategori II sehingga didapat nilai  $I = 1$ .

#### 4.6.7 Kontrol Desain

Setelah dilakukan pemodelan struktur 3 dimensi dengan program bantu SAP 2000, hasil analisis struktur harus dikontrol terhadap suatu batasan-batasan tertentu sesuai dengan peraturan SNI 1726:12 untuk menentukan kelayakan sistem struktur



tersebut. Adapun hal-hal yang harus dikontrol adalah sebagai berikut:

- Kontrol partisipasi massa.
- Kontrol periode getar struktur.
- Kontrol nilai akhir respon spektrum.
- Kontrol batas simpangan (*drift*)

Dari analisis tersebut juga diambil gaya dalam yang terjadi pada masing-masing elemen struktur untuk dilakukan pengecekan kapasitas penampang.

#### 4.6.7.1 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:12 ps 7.9.1, bahwa perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90% dari massa aktual dari masing-masing arah

Dalam hal ini digunakan bantuan program SAP 2000 untuk mengeluarkan hasil partisipasi massa seperti pada Tabel 4.10 berikut:

**Tabel 4. 9** Modal rasio partisipasi massa

StepType	StepNum	Period	SumUX	SumUY
		Sec	Unitless	Unitless
Mode	1	1,587992	0,13243	0,38446
Mode	2	1,274429	0,73757	0,48242
Mode	3	0,744591	0,7414	0,72267
Mode	4	0,513161	0,7592	0,78267
Mode	5	0,367744	0,89176	0,80209
Mode	6	0,29429	0,89879	0,81733
Mode	7	0,204169	0,90241	0,82811
Mode	8	0,198314	0,94508	0,82862
Mode	9	0,171485	0,9451	0,91523
Mode	10	0,156167	0,94595	0,9171
Mode	11	0,155467	0,94643	0,91763

Dari tabel di atas didapat partisipasi massa arah X sebesar 90,24 % pada moda ke 7 dan partisipasi massa arah Y sebesar 91,52 % pada moda ke 9. Maka dapat disimpulkan analisis struktur yang sudah dilakukan telah memenuhi syarat yang terdapat pada SNI 1726:12 pasal 7.9.1 yaitu partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit sebesar 90%.

#### 4.6.7.2 Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental ( $T$ ) dari struktur gedung harus dibatasi. Berdasarkan SNI 1726:12, periode fundamental struktur harus ditentukan dari:

$$T = C_t \times h_n^x$$

Koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 6.5 SNI 1726:12

**Tabel 4. 10** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

TipeStruktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

**Tabel 4. 11** Koefisien untuk Batas Atas dari Periode yang di hitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

$$T_x = 0,0466 (44 \text{ m})^{0,9} = 1,4044 \text{ s}$$

$$T_y = 0,0466 (44 \text{ m})^{0,9} = 1,4044 \text{ s}$$

Dengan  $SD_1 = 0,607$  maka didapatkan koefisien  $C_u = 1,4$

$$T = T_a \times C_u = 1,4044 \times 1,4 = 1,966 \text{ s}$$

**Tabel 4. 12** Modal Periode dan Frekusensi Struktur

Mode	StepNum	Period
		Sec
Mode	1	1,587992
Mode	2	1,274429
Mode	3	0,744591
Mode	4	0,513161
Mode	5	0,367744
Mode	6	0,29429
Mode	7	0,204169
Mode	8	0,198314
Mode	9	0,171485
Mode	10	0,156167
Mode	11	0,155467

T terbesar yang didapat dari analisis SAP = 1,587992 s, maka:

$$1,587992 < T_a.C_u$$

$$1,587992 < 1,4044 \times 1,4$$

$$1,587992 < 1,966 \text{ OK}$$

#### 4.6.7.3 Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:12, nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statik. Rumus gaya geser statik adalah:

$$V = C_s \times W$$

(SNI 1726:12 Pasal 7.8.1)

Dimana:

$$C_s = \frac{SD_s}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,607}{\left(\frac{6,5}{1}\right)} = 0,0934$$

Dan nilai  $C_s$  tidak lebih dari

$$C_s = \frac{SD_1}{T \left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,5194}{1,423243 \left(\frac{6,5}{1}\right)} = 0,056144799$$

Dan nilai  $C_s$  tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s = \frac{0,5 \times 0,265}{\left(\frac{6,5}{1}\right)} = 0,0204$$

Maka nilai  $C_s$  diambil 0,056144799

Dari analisis yang sudah dilakukan, didapatkan nilai berat total struktur gedung Stikes Anwar Medika adalah:

**Tabel 4. 13** Reaksi Dasar Struktur

Load Cases	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
	KN	KN	KN
1,4D	0	0	0
1,2D+1,6L	1,901E-10	-3,9E-10	52420,192
1,2D+1L+1EX	2182,304	1077,044	32774,388
1,2D+1L+1EY	1147,648	1737,013	32783,221
1,2D+1L+1EX	-2182,304	-1077,044	32750,852
1,2D+1L+1EY	-1147,648	-1737,013	32742,019
0,9D+1EX	2182,304	1077,044	11,768
0,9D+1EY	1147,648	1737,013	20,601
0,9D+1EX	-2182,304	-1077,044	-11,768
0,9D+1EY	-1147,648	-1737,013	-20,601
1D+1L	-5,621E-12	-5,251E-10	32762,62

Dari tabel di atas didapat berat total struktur adalah 32762,62 KN atau 3276262 kg. Maka:

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W \\
 &= 0,056144799 \times 3276262 \\
 &= 183470,672 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisis menggunakan program SAP 2000 didapatkan nilai gaya geser dasar (base shear) sebagai berikut:

**Tabel 4. 14** Gaya Geser Dasar Akibat Beban Gempa

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
Text	KN	KN
GEMPA X	2182,304	1077,044
GEMPA Y	1147,648	1737,013

Kontrol:

- Untuk gempa arah X:

$$\begin{aligned} V_{dinamik} &\geq 85 \% V_{statik} \\ 218230,4 &\geq 0,85 \times 183470,672 \\ 218230,4 &\geq 155950,0712 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Untuk gempa arah Y:

$$\begin{aligned} V_{dinamik} &\geq 85 \% V_{statik} \\ 173701,3 &\geq 0,85 \times 183470,672 \\ 173701,3 &\geq 155950,0712 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Dari kontrol di atas dapat disimpulkan bahwa analisis struktur gedung Stikes Anwar Medika sudah memenuhi persyaratan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.

#### 4.6.7.4 Kontrol Batas Simpangan Antar Lantai (*Drift*)

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Berdasarkan SNI 1726:12 Pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan simpangan digunakan rumus:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xE}}{I}$$

Dimana:

$\delta_x$  = defleksi pada lantai ke-x

$C_d$  = faktor pembesaran defleksi ( = 5.5 ) (SNI tabel 9)

$I$  = faktor keutamaan gedung ( = 1 )

Untuk sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan dengan dinding geser beton bertulang khusus, ditetapkan drift sebagai berikut

**Tabel 4. 15** Batas Simpangan Gedung

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025 h_{sx}^c$	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$	$0,007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020 h_{sx}$	$0,015 h_{sx}$	$0,010 h_{sx}$

$$\Delta = 0.020.h_{sx}$$

$$= 0.020 \times 4000 = 80 \text{ mm}$$

Dimana:

$h_{sx}$  = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

Dari analisis akibat beban lateral (beban gempa) dengan program SAP 2000, diperoleh nilai simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebagai berikut:

**Tabel 4. 16** Simpangan Antar Lantai Yang Terjadi Akibat Beban

LANTAI	GEMPA ARAH X		GEMPA ARAH Y	
	simpangan arah x	simpangan arah y	simpangan arah x	simpangan arah y
dasar	0	0	0	0
1	0,001107	0,00151	0,000658	0,002285
2	0,002979	0,003995	0,001767	0,006019
3	0,005173	0,006606	0,003035	0,009896
4	0,007577	0,00917	0,004398	0,013642
5	0,010095	0,011615	0,005811	0,017156
6	0,012641	0,013891	0,00723	0,020368
7	0,01514	0,015956	0,008618	0,023225
8	0,017534	0,017767	0,009943	0,025671
9	0,019772	0,019284	0,011177	0,027654

10	0,021775	0,020456	0,012278	0,029113
11	0,023357	0,021226	0,013151	0,03002

**Tabel 4. 17** Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (m)	Simpangan diperbesar (m)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Ket
i	$h_i$	$h_{sx}$	$\delta_e$	$\delta$	$\Delta$	$\Delta i$	
		$h_i - h_{(i-1)}$		$\delta_e \times C_{d(5,5)}$		0.020 $h_{sx}$	
dasar	0	0	0	0	0	0	ok
1	4	4	0,001107	0,006089	0,006089	0,08	ok
2	8	4	0,002979	0,016385	0,010296	0,08	ok
3	12	4	0,005173	0,028452	0,012067	0,08	ok
4	16	4	0,007577	0,041674	0,013222	0,08	ok
5	20	4	0,010095	0,055523	0,013849	0,08	ok
6	24	4	0,012641	0,069526	0,014003	0,08	ok
7	28	4	0,01514	0,08327	0,013745	0,08	ok
8	32	4	0,017534	0,096437	0,013167	0,08	ok
9	36	4	0,019772	0,108746	0,012309	0,08	ok
10	40	4	0,021775	0,119763	0,011017	0,08	ok
11	44	4	0,023357	0,128464	0,008701	0,08	ok



**Tabel 4. 18** Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (m)	Simpangan diperbesar (m)	Simpangan antar lantai (m)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Ket
i	$h_i$	$h_{sx}$	$\delta_e$	$\delta$	$\Delta$	$\Delta i$	
		$h_i - h_{(i-1)}$		$\delta_e \times C_{d(5,5)}$		$0.020 h_{sx}$	
dasar	0	0	0	0	0	0	ok
1	4	4	0,000658	0,003619	0,003619	0,08	ok
2	8	4	0,001767	0,009719	0,0061	0,08	ok
3	12	4	0,003035	0,016693	0,006974	0,08	ok
4	16	4	0,004398	0,024189	0,007497	0,08	ok
5	20	4	0,005811	0,031961	0,007772	0,08	ok
6	24	4	0,00723	0,039765	0,007805	0,08	ok
7	28	4	0,008618	0,047399	0,007634	0,08	ok
8	32	4	0,009943	0,054687	0,007288	0,08	ok
9	36	4	0,011177	0,061474	0,006787	0,08	ok
10	40	4	0,012278	0,067529	0,006056	0,08	ok
11	44	4	0,013151	0,072331	0,004801	0,08	ok

**Tabel 4. 19** Kontrol Simpangan Arah X Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (m)	Simpangan diperbesar (mm)	Simpangan antar lantai (mm)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Ket
i	$h_i$	$h_{sx}$	$\delta_e$	$\delta$	$\Delta$	$\Delta i$	
		$h_i - h_{(i-1)}$		$\delta_e \times C_{d(5,5)}$		$0.020 h_{sx}$	
dasar	0	0	0	0	0	0	ok
1	4	4	0,00151	0,008305	0,008305	0,08	ok
2	8	4	0,003995	0,021973	0,013668	0,08	ok
3	12	4	0,006606	0,036333	0,014361	0,08	ok
4	16	4	0,00917	0,050435	0,014102	0,08	ok
5	20	4	0,011615	0,063883	0,013448	0,08	ok
6	24	4	0,013891	0,076401	0,012518	0,08	ok
7	28	4	0,015956	0,087758	0,011358	0,08	ok
8	32	4	0,017767	0,097719	0,009961	0,08	ok
9	36	4	0,019284	0,106062	0,008343	0,08	ok
10	40	4	0,020456	0,112508	0,006446	0,08	ok
11	44	4	0,021226	0,116743	0,004235	0,08	ok

**Tabel 4. 20** Kontrol Simpangan Arah Y Akibat Beban Gempa Arah Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi Lantai (m)	Simpangan (m)	Simpangan diperbesar (m)	Simpangan antar lantai (m)	Simpangan ijin antar lantai (mm)	Ket
i	$h_i$	$h_{sx}$	$\delta_e$	$\delta$	$\Delta$	$\Delta i$	
		$h_i - h_{(i-1)}$		$\delta_e \times C_{d(5,5)}$		$0.020 h_{sx}$	
dasar	0	0	0	0	0	0	ok
1	4	4	0,002285	0,012568	0,012568	0,08	ok
2	8	4	0,006019	0,033105	0,020537	0,08	ok
3	12	4	0,009896	0,054428	0,021324	0,08	ok
4	16	4	0,013642	0,075031	0,020603	0,08	ok
5	20	4	0,017156	0,094358	0,019327	0,08	ok
6	24	4	0,020368	0,112024	0,017666	0,08	ok
7	28	4	0,023225	0,127738	0,015714	0,08	ok
8	32	4	0,025671	0,141191	0,013453	0,08	ok
9	36	4	0,027654	0,152097	0,010907	0,08	ok
10	40	4	0,029113	0,160122	0,008024	0,08	ok
11	44	4	0,03002	0,16511	0,004989	0,08	ok

Dari hasil kontrol tabel di atas maka analisis struktur gedung Stikes RS Anwar Medika memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 1726:12 Pasal 7.9.3 dan Pasal 7.12.1.

#### 4.6.7.5 Kontrol Sistem Ganda

Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

**Tabel 4. 21** Persentase Gaya Geser yang Mampu Dipikul Sistem Struktur

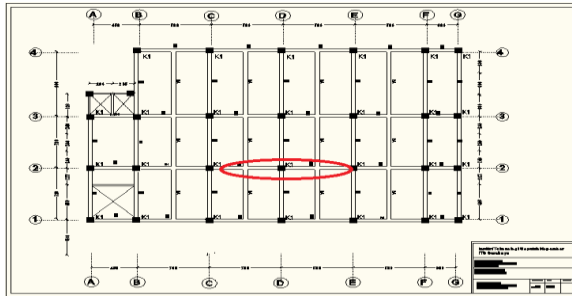
Pemikul Gaya Geser	Arah X (kg)	%	Arah Y (kg)	%
Semua Perletakan	528911,8	100	522071,2	100
Dinding Geser	377422,2	70,62	376661,4	72,15
Sistem Rangka	156998,6	29,38	145409,8	27,85

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.22 di atas, kontrol sistem ganda memenuhi.

### 4.7 Perencanaan Balok Induk

#### 4.7.1 Umum

Struktur utama atau struktur primer adalah suatu komponen yang kekakuannya mempengaruhi perilaku dari suatu gedung. Struktur utama menahan semua kombinasi beban yang berasal dari beban gravitasi dan beban lateral berupa gempa dan angin. Komponen balok induk, kolom dan dinding struktur geser (*shear wall*) merupakan komponen struktur primer. Berikut adalah perhitungan dalam perencanaan kebutuhan tulangan struktur primer tersebut.



**Gambar 4. 24** Denah Pembalokan

#### 4.7.1 Perencanaan Balok Induk Pracetak

Perencanaan balok induk dalam struktur Gedung Stikes Anwar Medika ini menggunakan balok induk dengan dimensi 50/70.

Penulangan balok induk dihitung dalam 2 kondisi yaitu kondisi sebelum komposit dan setelah komposit. Dari kedua kondisi tersebut diambil perhitungan penulangan dengan jumlah kebutuhan terbesar (kritis) yang akan digunakan untuk kebutuhan penulangan balok induk.

##### 4.7.1.1 Data Perencanaan

Data perencanaan yang diperlukan meliputi :

- Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
- Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
- Dimensi balok = 30/50cm
- Diameter tulangan longitudinal = 29 mm
- Diameter tulangan sengkang = 13 mm

##### 4.7.1.2 Penulangan Lentur B1

###### ⇒ Penulangan Lentur Sebelum Komposit

Balok pracetak pada saat sebelum komposit dihitung sebagai balok sederhana pada tumpuan dua sendi. Pembebanan pada balok induk sebelum komposit konsepnya sama dengan pembebanan balok induk sesudah komposit yang telah dihitung

sebelumnya. Perhitungan untuk pembebanan merata pada balok induk menggunakan konsep menggunakan konsep tributari area. Berikut ini merupakan beban merata (q) yang terjadi pada balok :

### **Beban Pada Balok Anak**

$$L_x = 125 \text{ cm} = 1,25 \text{ m}$$

$$L_y = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$$

- Beban Mati

$$q_{\text{sendiri pelat}} = 0,07 \times 2400 = 132 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{balok anak}} = 0,3 \times 0,38 \times 2400 = 273,6 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{ek pelat}} &= 4 \times \frac{1}{3} \times q_u \times L_x \\ &= 4 \times \frac{1}{3} \times 168 \times 1,25 \\ &= 220 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

- Beban Hidup

$$\begin{aligned} q_{\text{ek pelat}} &= 4 \times \frac{1}{3} \times q_u \times L_x \\ &= 4 \times \frac{1}{3} \times 100 \times 1,25 \\ &= 166,67 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Kombinasi Beban

$$= 1,2 D + 1,6 LL$$

$$= 1,2 \times (220 + 273,6) + 1,6 (166,67)$$

$$= 858,99 \text{ kg/m}$$

Kemudian berat total dari balok anak ini dijadikan sebagai beban terpusat ( $P_D$ ) pada saat pembebanan balok induk.

$$P_u = 858,99 \text{ kg/m} \times 7 \text{ m} = 3006,453333 \text{ kg}$$

### **Beban Pada Balok Induk**

Beban yang bekerja pada balok induk adalah berat sendiri balok induk dan beban ekivalen pelat. Kemudian dari beban tersebut ditambahkan  $P_u$  dari total pembebanan dari struktur sekunder balok anak dan pelat.

$$L_x = 267,5 \text{ mm} = 2,675 \text{ mm}$$

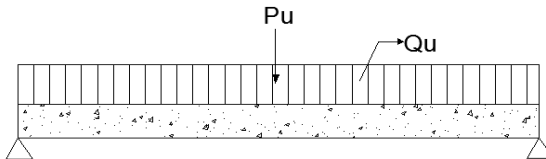
$$L_y = 565 \text{ mm} = 5,65 \text{ mm}$$

- Beban Mati

$$q_{\text{sendiri}} = 0,5 \times 0,58 \times 2400 = 696 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{ek pelat}} &= 4 \times \frac{1}{2} \times q_u \times L_x \left(1 - \left(\frac{1}{3} \times \left(\frac{L_x}{L_y}\right)^2\right)\right) \\ &= 4 \times \frac{1}{2} \times 168 \times 1,25 \left(1 - \left(\frac{1}{3} \times \left(\frac{1,25}{3}\right)^2\right)\right) \\ &= 310,9 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Dari data perhitungan di atas didapatkan pembebanan balok induk sebelum komposit sebagai berikut



**Gambar 4. 25** Pembebanan BL.1 Sebelum Komposit

Momen yang terjadi sebelum komposit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_u &= \left(\frac{1}{8} \times q_u \times L^2\right) + \left(\frac{1}{2} \times P_u \times L\right) \\ &= 17923,32208 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Jadi, momen ( $M_u$ ) yang akan dipakai dalam perhitungan tulangan lentur balok induk sebelum komposit adalah 20957,4 kgm.

### **Perhitungan Tulangan Lentur**

- Data Perencanaan
  - Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
  - Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
  - Dimensi balok = 50/58 cm
  - Diameter tulangan utama = 29 mm
  - Diameter tulangan sengkang = 13 mm

$$d = h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b$$

$$d = 580 - 50 - 10 - \frac{1}{2} (25) = 512,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,5 \times \sqrt{f'c}}{fy} = \frac{0,5 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428$$

Digunakan  $\rho_{\min}$  terbesar antara 2 perhitungan  $\rho_{\min}$  di atas,

$$\rho_{\min} = 0,004375$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times f'c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,55$$

### • Tulangan Tumpuan

Karena perletakan sebelum komposit dianggap sendi maka momennya adalah nol, namun tetap diberi penulangan tumpuan sebesar setengah dari penulangan lapangan.

Digunakan  $\rho_{\min}$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\min} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 500 \times 512,5 \\ &= 1121,09375 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD29}}$$

$$= \frac{1121,09375}{660,5198554} = 1,697290007 \approx 2 \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D29}$$

$$= 2 \times 660,52 \text{ mm}^2$$

$$= 1321,039711 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu ... OK}$$

**∴ Maka digunakan tulangan lentur 2D29**

### • Tulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 17923,32208 \text{ kgm} = 179233220,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{179233220,8}{0,9 \times 500 \times 512,5^2} = 1,516415643$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right)$$



$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 1,516415643}{320}} \right) = 0,004888759$$

$$\rho_{\min} = 0,004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0,004888759$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,004888759$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004888759 \times 500 \times 512,5 = 1252,744616 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD29}} \\ &= \frac{1252,744616}{660,52} = 1,896604024 \approx 2 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

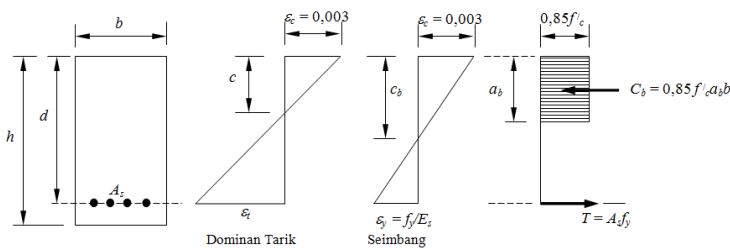
$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D29}$$

$$= 2 \times 660,52 \text{ mm}^2$$

$$= 1321,039711 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 2D29

### Kontrol



$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \varepsilon_c$$

Menurut SNI 2847:13 ps.10.3.5 bahwa kuat lentur nominal beton harus sama dengan atau lebih dari 0,004.

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b}$$

$$= \frac{1984,701159 \times 320}{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 500}$$

$$= 39,6732556$$

Sehingga nilai,

$$\varepsilon_t = \frac{512,5 - 39,6732556}{39,6732556} 0,003 = 0,035754067 \text{ (Dominan Tarik)}$$

Dari grafik regangan diperoleh nilai faktor reduksi sebesar  $\phi = 0,9$ .

### ⇒ Penulangan Lentur Sesudah Komposit

- Data Perencanaan
  - Mutu beton ( $f'_c$ ) = 30 MPa
  - Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
  - Dimensi balok = 50/70 cm
  - Diameter tulangan utama = 29 mm
  - Diameter tulangan sengkang = 13 mm

$$d = h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b$$

$$d = 500 - 40 - 13 - \frac{1}{2} (29) = 632,5 \text{ mm}$$

$$d' = 40 + 10 + (0,5 \times 29) = 72,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,5 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,5 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428$$

Digunakan  $\rho_{\min}$  terbesar antara 2 perhitungan  $\rho_{\min}$  di atas,

$$\rho_{\min} = 0,004375$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,55$$

- Balok T

↳ Lebar efektif balok T beam

$$be_1 = \frac{1}{4} \times Lb = \frac{1}{4} \times 700 = 175 \text{ cm}$$

$$be_2 = 8 \times tp = 8 \times 12 = 192 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times b = \frac{1}{2} \times 500 = 250 \text{ cm}$$

↳ Kontrol Balok T beam

$$Be = 1750 \text{ mm}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{660,52 \times 320}{0,85 \times 30 \times 500}$$

$$= 47,365 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{47,365}{0,836} = 56,68 \text{ mm}$$

$$c = 56,68 \text{ mm} < t_f = 120 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

### **Momen yang terjadi sesudah komposit (SAP 2000)**

Momen tumpuan (-) = -181602000 Nmm

Momen tumpuan (+) = 152276000 Nmm

Momen lapangan = 179810800 Nmm

Gaya Geser = 103274 N

### ❖ **Tulangan tumpuan atas :**

$$M_{\text{tumpuan}} = 181602000 \text{ Nmm}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D29

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$d_x = 632,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 201780000 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d_x^2} = \frac{201780000}{500 \times 632,5^2} = 1$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 1}{320}} \right) = 0,003217317$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,004375 > \rho_{\text{perlu}} = 0,003217317$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,004375$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,004375 \times 500 \times 632,5 = 1383,59375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan, } n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD29}} \\ &= \frac{1383,59375}{660,5198554} = 2,1 \approx 3 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \text{jumlah tulangan} \times A_{D29} \\ &= 3 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ &= 1981,559566 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

❖ **Perhitungan syarat tulangan tekan:**

Persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari 1/3 tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

$$\begin{aligned} - n_{\text{bawah}} &\geq 1/3 n_{\text{atas}} \\ n_{\text{bawah}} &\geq 1/3 \times 4 \\ - n_{\text{bawah}} &\geq 2 \end{aligned}$$

ambil jumlah tulangan bawah = 2 buah, syarat  $\geq 2$  buah. Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **2D29** ( $A_s' = 1321,039711 \text{ mm}^2$ )

**Kontrol kekuatan :**

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1981,559566}{500 \times 632,5} = 0,006265801$$

$$\rho > \rho$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$\frac{1981,55956 \times 320}{0,85 \times 30 \times 500}$$

$$= 258,55 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{258,55}{0,836} = 309,375 \text{ mm}$$

$$\varepsilon t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{632,5 - 309,375}{309,375} \times 0,003 = 0,0107 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi  $\phi = 0,9$  "OK"**

$$\begin{aligned} \mu &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1981,559566 \times 320 \times \left(632,5 - \frac{258,55}{2}\right) \\ &= 3223177701 \text{ Nmm} \\ \mu &> M_{\text{lapangan}} = 319094783,2 \text{ Nmm} > 181602000 \text{ Nmm (OK)} \end{aligned}$$

### **Kontrol Tulangan Rangkap :**

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_{s_{tarik}}}{b \times d} \\ &= \frac{1981,559566}{500 \times 632,5} \\ &= 0,006265801 \end{aligned}$$

$$\rho > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{A_{s_{tekan}}}{b \times d} \\ &= \frac{1321,039711}{500 \times 632,5} \\ &= 0,004177201 \end{aligned}$$

$$\rho - \rho' \geq 0,85 \beta_1 \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) \left( \frac{d'}{d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$0,0020886 \geq 0,85 \times 0,836 \left( \frac{30}{320} \right) \left( \frac{54,5}{632,4} \right) \left( \frac{600}{600 - 320} \right)$$

$$0,0020886 \geq 0,0122964$$

(Tulangan tekan belum leleh)

$$\varepsilon'_s = 0,003 \left( \frac{309,375 - 54,5}{309,375} \right) = 0,0024715$$

$$f'_s = 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) = 600 \left( \frac{309,375 - 54,5}{309,375} \right) = 494$$

Maka diambil  $f'_s = 320$  MPa (dalam kondisi tarik)  
(Tulangan tekan dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{(A_s - A_s') \times f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{(1981,559566 - 1321,039711) \times 320}{0,85 \times 30 \times 500} = 16,57775323 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[ (A_s - A_s') f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \right]$$

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = 0,9 \left[ (1981,5596 - 1321,0397) \times 320 \left( 632,5 - \frac{16,6}{2} \right) + 1321,0397 \times 320 (632,5 - 54,5) \right]$$

$$= 363083011,1 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,9 \times 363083011,1 = 326774710 \text{ Nmm}$$

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 326774710 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

### ❖ Tulangan lentur lapangan :

Sebelum kita lakukan analisa desain perencanaan untuk tulangan lapangan perlu dilakukan cek apakah balok pada daerah lapangan tergolong balok T atau bukan dengan perumusan sebagai berikut :

Tulangan lapangan bawah

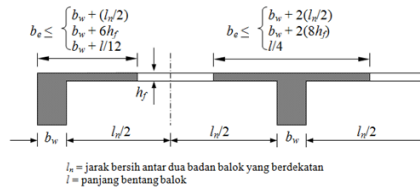
$$be_1 = \frac{1}{4} \times L_b = \frac{1}{4} \times 700 = 175 \text{ cm}$$

$$be_2 = b_w + 16t = 50 + (16 \times 12) = 242 \text{ cm}$$

$$be_3 = \frac{1}{2} \times (L_b - b_w) = \frac{1}{2} \times (700 - 50) = 325 \text{ cm}$$

$$b = b_{e1} = 175 \text{ cm}$$

$$dx = 632,5 \text{ mm}$$



**Gambar 4. 26** Potongan Balok T BI

Direncanakan menggunakan tulangan D25

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$dx = 632,5 \text{ mm}$$

$$Mu = 179810800 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times dx^2} = \frac{179810800}{0,9 \times 500 \times 632,5^2} = 1,516415643$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 1,516415643}{320}} \right) = 0,004888759$$

$$\rho_{min} = 0,004375 < \rho_{perlu} = 0,004888759$$

maka dipakai  $\rho_{pakai} = 0,004888759$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$As_{perlu} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,004888759 \times 500 \times 632,5 = 1383,59375 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{As_{perlu}}{As_{D29}}$$

$$= \frac{1383,59375}{660,5198554} = 2,094704252 \approx 3 \text{ tulangan}$$

$$As_{pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D29}$$

$$= 3 \times 660,52 \text{ mm}^2$$

$$= 1981,559566 \text{ mm}^2 > As_{perlu} \dots \text{OK}$$

❖ **Perhitungan syarat tulangan tekan:**

Persyaratan SNI 2847:2013 pasal 21.10 menyatakan bahwa jumlah tulangan serat bawah tidak boleh kurang dari  $1/3$  tulangan atas atau minimal dipasang 2 buah tulangan.

- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 n_{\text{atas}}$
- $n_{\text{bawah}} \geq 1/3 \times 4$
- $n_{\text{bawah}} \geq 2$

ambil jumlah tulangan bawah = 2 buah, syarat  $\geq 2$  buah. Maka untuk tulangan tekan (tulangan bawah) dipasang tulangan sejumlah **2D29** ( $A_s' = 1321,039711 \text{ mm}^2$ )

**Kontrol kekuatan :**

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{1981,559566}{500 \times 632,5} = 0,006265801$$

$$\rho > \rho$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{1981,55956 \times 320}{0,85 \times 30 \times 500}$$

$$= 258,55 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{258,55}{0,836} = 309,375 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{632,5 - 309,375}{309,375} \times 0,003 = 0,0107 > 0,005$$

∴ **Faktor Reduksi  $\phi = 0,9$  "OK"**

$$\begin{aligned} M_u &= \phi \times A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9 \times 1981,559566 \times 320 \times \left(632,5 - \frac{258,55}{2}\right) \\ &= 3223177701 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 319094783,2 \text{ Nmm} > 181602000 \text{ Nmm (OK)}$$

**Kontrol Tulangan Rangkap :**

$$\rho = \frac{A_{s_{\text{tarik}}}}{b \times d}$$



$$= \frac{1981,559566}{500 \times 632,5}$$

$$= 0,006265801$$

$$\rho > \rho_{\text{perlu}}$$

$$\rho' = \frac{A_{s_{\text{tekan}}}}{b \times d}$$

$$\rho - \rho' \geq 0,85 \beta_1 \left( \frac{f_c}{f_y} \right) \left( \frac{d'}{d} \right) \left( \frac{600}{600 - f_y} \right)$$

$$0,0020886 \geq 0,85 \times 0,836 \left( \frac{30}{320} \right) \left( \frac{54,5}{632,4} \right) \left( \frac{600}{600 - 320} \right)$$

$$0,0020886 \geq 0,0122964$$

(Tulangan tekan belum leleh)

$$\varepsilon'_s = 0,003 \left( \frac{309,375 - 54,5}{309,375} \right) = 0,0024715$$

$$f'_s = 600 \left( \frac{c - d'}{c} \right) = 600 \left( \frac{309,375 - 54,5}{309,375} \right) = 494$$

Maka diambil  $f'_s = 320$  MPa (dalam kondisi tarik)

(Tulangan tekan dalam kondisi tarik)

$$a = \frac{(A_s - A_{s'}) \times f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{(1981,559566 - 1321,039711) \times 320}{0,85 \times 30 \times 500} = 16,57775323 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = \phi \left[ (A_s - A_{s'}) f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_{s'} f_y (d - d') \right]$$

$$\phi M_n = M_{u1} + M_{u2} = 0,9 \left[ \begin{aligned} &(1981,5596 - 1321,0397) \times 320 \left( 632,5 - \frac{16,6}{2} \right) \\ &+ 1321,0397 \times 320 (632,5 - 54,5) \end{aligned} \right]$$

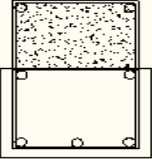
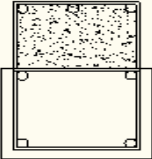
$$= 363083011,1 \text{ Nmm}$$

$$M_u = \phi M_n = 0,9 \times 363083011,1 = 326774710 \text{ Nmm}$$

$$M_u > M_{\text{lapangan}} = 326774710 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$$

Hasil dari penulangan setelah komposit adalah sebagai berikut,

- Akibat momen tumpuan  
 Tulangan atas = 3D29 ( $A_s = 1981,559566 \text{ mm}^2$ )  
 Tulangan bawah = 2D29 ( $A_s = 1321,039711 \text{ mm}^2$ )
- Akibat momen lapangan  
 Tulangan atas = 2D29 ( $A_s = 1321,039711 \text{ mm}^2$ )  
 Tulangan bawah = 3D29 ( $A_s = 1981,559566 \text{ mm}^2$ )

KODE	B1	
KONDISI	TULANGAN LAPANGAN	TULANGAN TUMPUAN
SKETSA		
KETERANGAN		
PENAMPANG	30 CM X 50 CM	
DECKING	40 MM	
ATAS	3 D29	2 D29
BAWAH	2 D29	3 D29
TENGAH	2 D29	2 D29
BEGEL	Ø10 - 100 mm	Ø10 - 100 mm

Gambar 4. 27 Penulangan Balok

### 4.7.1.3 Penulangan Geser dan Torsi

#### ❖ Penulangan Geser

Geser rencana akibat gempa pada balok dapat dihitung dengan mengansumsikan sendi plastis terbentuk di ujung ujung balok dengan tegangan tulangan lentur balok mencapai  $1,25 f_y$  dan faktor reduksi kuat lentur  $\phi = 1$ .

$$\alpha_{pr} = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$M_{pr} = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{\alpha_{pr}}{2} \right)$$

**Tabel 4. 22** Perhitungan Mpr

LOKASI			n	As Perlu (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	Mpr (Nmm)
Tumpuan	Kiri	Atas	3	1981,6	62,17	476697216,1
		Bawah	2	1321,04	41,44	323273111,7
	Kanan	Atas	3	1981,6	62,17	476697216,1
		Bawah	2	1321,04	41,44	323273111,7

$$l_n = 6,5 \text{ m}$$

$$W_u = 60,19 \text{ N/m (distribusi beban segitiga dan trapezium)}$$

$$\begin{aligned} V_g &= \frac{w_u l_n}{2} \\ &= \frac{60,19 \times 6500}{2} \\ &= 97802,39083 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Analisa terhadap gempa kanan

$$V_{sway-ka} = \frac{M_{pr3} + M_{pr4}}{l_n}$$

$$\begin{aligned} V_{sway-ka} &= \frac{476697216,1 + 323273111,7}{6500} \\ &= 123072,3581 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total reaksi geser ujung kiri balok} &= 97802,4 - 123072,36 \\ &= 25269,96729 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total reaksi geser ujung kanan balok} &= 97802,4 + 123072,36 \\ &= 220874,749 \text{ N}\end{aligned}$$

- Analisa terhadap gempa kiri

$$V_{\text{sway}-ki} = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{ln}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{sway}-ki} &= \frac{476697216,1 + 323273111,7}{6500} \\ &= 123072,3581 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total reaksi geser ujung kanan balok} &= 97802,4 - 123072,36 \\ &= 25269,96729 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total reaksi geser ujung kiri balok} &= 97802,4 + 123072,36 \\ &= 220874,749 \text{ N}\end{aligned}$$

**Tabel 4. 23** Rekap  $V_u$  sway

arah gerakan gempa	$V_u$ sway	Left Interior Sup. Reaction		Reaksi gaya geser	
		$V_u$	$1/2 V_u$	$V_u$	$1/2 V_u$
Kanan	123072, 3581	25269,9 673	12634, 98	220874, 749	<b>11043</b> <b>7,37</b>
Kiri	123072, 3581	220874, 749	<b>11043</b> <b>7,4</b>	25269,9 6729	12634, 984

- Pemasangan Senggang Daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2 bahwa tulangan transversal untuk memikul geser dengan menganggap  $V_c = 0$ , apabila:

- Gaya geser akibat sendi sendi plastis di ujung ujung balok melebihi  $\frac{1}{2}$  (atau lebih) kuat geser maksimum  $V_u$  di sepanjang bentang
- Gaya Aksial Tekan  $< 0,2 \times A_g \times f_c'$

Karena Gaya aksial terlalu kecil maka memenuhi :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{220874,749}{0,75} - 0$$

$$= 294499,6653 \text{ N}$$

SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9

Maksimun  $V_{max} =$

$$V_{s-max} = \frac{2\sqrt{f_c'}}{\phi} b_w d$$

$$V_{s-max} = \frac{2\sqrt{30}}{0,75} 500 \times 632,5$$

$$= 1154781,725 \text{ N}$$

Karena  $V_s < V_{s-max}$  maka syarat  $V_s$  maksimum terpenuhi.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 bahwa syarat jarak antar sengkang untuk sendi plastis tidak boleh melebihi

- $d/4 = 632,5/4 = 158,125 \text{ mm}$
- $6 D_b = 6 \times 29 = 174 \text{ mm}$
- $150 \text{ mm}$

Dari Syarat diatas maka diambil jarak antar sengkang = 150 mm. Dengan digunakan tulangan sengkang 13 dengan 2 kaki ( $A_v = 266 \text{ mm}^2$ )

Sehingga nilai kuat geser diperoleh sebagai berikut :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$V_s = \frac{266 \times 320 \times 632,5}{150}$$

$$= 358200,2056 \text{ N}$$

Sengkang yang dipasang **2D13** mm sejarak **150** mm

➤ Pemasangan Sengkang di Luar Daerah Sendi Plastis

Gaya geser sendi plastis yaitu  $2h = 1400$  mm dari muka kolom adalah  $220874,749 \text{ N} - (1,4 \times 60,19 \text{ N/m}) = 220790,4884 \text{ N}$ . Di zona ini, kontribusi  $V_c$  diperhitungkan.

$$V_c = \frac{\sqrt{f'_c}}{6} b_w d = \frac{\sqrt{30}}{6} \times 500 \times 632,5 = 259825,8882 \text{ N}$$

Maka :

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_s = \frac{220790,4884 \text{ N}}{0,75} - 259825,8882 = 34561,4297 \text{ N}$$

Digunakan tulangan diameter 13mm ( 2 kaki) ,dimana  $s = d/2 = 300$  mm (SNI 2847:2013 ps 21.3.5.2) diperoleh :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$V_s = \frac{266 \times 320 \times 632,5}{300}$$

$$= 179100,1028 \text{ N}$$

Sengkang yang dipasang **2D13** mm sejarak **300** mm

Sedangkan untuk spasi didaerah lewatan panjang spasi harus diantara  $d/4$  dan 100 mm(SNI 2847:2013 pasal .

$$\frac{d}{4} = \frac{632,5}{4} = 158,125 \text{ mm}$$

Dipakai  $s = 150$  mm

➤ Menentukan Cut off points

Dari diagram momen balok akan diketahui titik titik dimana tulangan tidak diperlukan lagi. Namun tetap harus ada minimal 2 buah tulangan yang kontinu.

### ❖ Penulangan Torsi

Dimensi Balok Induk = 50/70 cm

Tu = 11380000 Nmm

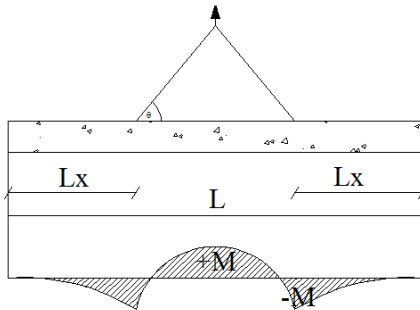
Pada kasus ini balok induk termasuk torsi kompatibilitas dimana dapat terjadi redistribusi puntir sehingga berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2 (a) maka momen puntir terfaktor maksimum dapat direduksi sesuai persamaan berikut :

$$T_u \leq \phi 0,33 \sqrt{f_c'} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\ \leq 0,75 \times 0,33 \times \sqrt{30} \times \left( \frac{(500 \times 700)^2}{(500+700) \times 2} \right) \leq 69192763,71 \text{ N}$$

Dengan demikian Tulangan Torsi diabaikan.

#### 4.7.4 Pengangkatan

Balok Induk dibuat secara pracetak di pabrik. Elemen balok harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik pengangkatan dan kekuatan tulangan angkat harus menjamin keamanan elemen balok tersebut dari kerusakan.



**Gambar 4. 28** Momen saat pengangkatan balok induk

Dimana :

$$M+ = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times t g \theta} \right)$$

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \times \operatorname{tg} \emptyset}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{Y_t}{Y_b} \left( 1 + \frac{Y_c}{L \times \operatorname{tg} \emptyset} \right)} \right)}$$

➤ **Kondisi sebelum komposit**

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$h = 58 \text{ cm}$$

$$L = 900 \text{ cm}$$

Perhitungan:

$$Y_t = Y_b = \frac{(70-12)}{2} = 23 \text{ cm}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 50 \times 58^2 = 812966,6667 \text{ cm}^4$$

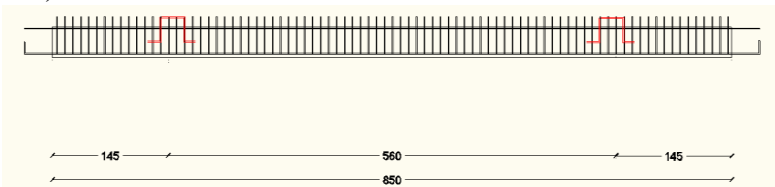
$$Y_c = Y_t + 5 = 28 \text{ cm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4 \times 28}{900 \times \operatorname{tg} 45}}{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{23}{23} \left( 1 + \frac{4 \times 28}{900 \times \operatorname{tg} 45} \right)} \right)}$$

$$= 0,183889625$$

$$X \times L = 0,183889625 \times 9,0 = 1,287227375 \text{ m} = 130 \text{ cm}$$

$$L - 2(X \times L) = 9 - (2 \times 1,287227375) = 4,425545249 \text{ m} = 442,5 \text{ cm}$$



**Gambar 4. 29** Letak titik pengangkatan

**Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,3 \times 0,58 \times 9 \times 2400) = 487200 \text{ N}$$

$$T \sin \emptyset = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

$$= \frac{1,2 \times 1,2 \times 2462,4}{2 \sin 45} = 3507840 \text{ N}$$



**d. Tulangan angkat balok induk**

$$P_u = 2507,298823 \text{ kg}$$

Menurut PBBI pasal 2.2.2. tegangan ijin tarik dasar baja bertulang adalah  $f_y/1,5$ . Jika dipakai tulangan polos dengan mutu  $f_y = 240$  Mpa, maka:

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = 2400/1,5 = 1600 \text{ kg/mm}^2$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{P_u}{\sigma_{\text{ijin}} \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq \sqrt{\frac{350784}{1600 \pi}}$$

$$\phi_{\text{tulangan angkat}} \geq 8,603458952 \text{ mm}$$

Digunakan Tulangan  $\phi 10$  mm

**Momen yang Terjadi****Pembebanan**

$$\text{Balok } (0,5 \times 0,58 \times 2400) = 69600 \text{ kg/m}$$

Dalam upaya untuk mengatasi beban kejut akibat pengangkatan, momen pengangkatan dikalikan dengan faktor akibat pengangkatan sebesar 1,2 sebagai berikut:

**Momen lapangan**

$$M+ = \frac{WL^2}{8} \left( 1 - 4X + \frac{4Y_C}{L \times t g \theta} \right)$$

$$M+ = \frac{273,6 \times 9^2}{8} \left( 1 - 4 \times 0,18663325 + \frac{4 \times 0,24}{9 \times t g 45} \right) \times 1,2$$

$$= 1197,17 \text{ kgm}$$

**Tegangan yang terjadi**

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{11971700}{\frac{1}{6} \times 300 \times 380^2}$$

$$= 1,658131212 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7\sqrt{f'c} = 3,83 \text{ MPa (OK)}$$

**Momen tumpuan**

$$-M = \frac{WX^2L^2}{2}$$

$$= \frac{273,6 \times 0,18663325^2 \times 9^2}{2} \times 1,2$$

$$= 463,1593138 \text{ kgm}$$

### Tegangan yang terjadi

$$f = \frac{M}{Wt} = \frac{4631593,138}{\frac{1}{6} \times 300 \times 380^2}$$

$$= 0,347369485 \text{ MPa} \leq f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} = 3,83 \text{ MPa (OK)}$$

Dari perhitungan momen diatas, didapatkan nilai  $f'$  akibat momen positif dan negatif berada dibawah nilai  $f'_{r_{ijin}}$  usia beton 3 hari. Jadi dapat ditarik kesimpulan, balok anak tersebut aman dalam menerima tegangan akibat pengangkatan.

#### 4.7.5 Kontrol Lendutan

Komponen struktur beton yang mengalami lentur harus dirancang agar memiliki kekakuan cukup untuk batas deformasi yang akan memperlemah kemampuan layan struktur saat bekerja. Sesuai SNI 2847:13, syarat tebal minimum balok dengan dua tumpuan apabila lendutan tidak dihitung adalah sebagai berikut:

$$h_{min} = \frac{1}{16} x lb$$

Lendutan tidak perlu dihitung sebab sejak preliminary design telah direncanakan agar tinggi dari masing-masing tipe balok lebih.

#### 4.8 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban beban yang diterima struktur, baik dari struktur sekunder maupun balok induk, serta berfungsi untuk meneruskan beban yang diterima ke pondasi. Pada perencanaan Tugas Akhir ini, kolom yang diperhitungkan diambil pada kolom yang memikul beban terbesar.

#### 4.8.1 Data Umum Perencanaan Kolom

Data umum perencanaan adalah sebagai berikut:

- Dimensi kolom : 70/70 cm
- Tinggi kolom : 400 cm
- Tebal decking : 40 mm
- Diameter Tulangan Utama (D) : 25 mm
- Diameter Sengkang ( $\phi$ ) : 13 mm
- Mutu baja ( $f_y$ ) : 320 Mpa
- Mutu beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- $d = 700 - 40 - 13 - (0,5 \times 25)$  : 635mm

##### 4.8.1.1 Kontrol Desain

**Tabel 4. 24** Gaya dalam kolom

Ukuran (mm)	Aksial (kN)	Torsi (kN-m)	Momen (kN-m)
700x700	-3554,365	6,02	667,4713

Menurut SNI 2847:2013 bahwa kolom yang didesain harus memiliki persyaratan sebagai berikut :

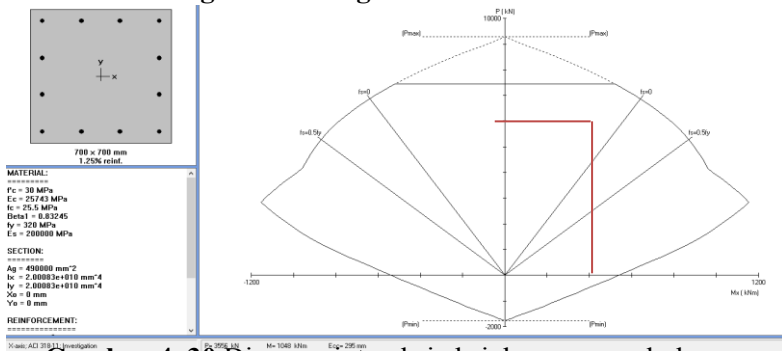
- ✓ Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi  $\frac{A_g f_c'}{10}$ .

$$\frac{A_g f_c'}{10} = \frac{(700 \times 700) \times 30}{10} = 1470000 \text{ N} = 1470 \text{ KN}$$

Gaya aksial terfaktor maksimum = 3554,654 KN > 1470 KN (Ok)

- ✓ Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm  
Sisi terpendek kolom,  $b = 700 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (Ok)
- ✓ Rasio dimensi penampang tidak boleh kurang dari 0,4.  
Rasio  $b/h = 1 > 0,4$  (Ok)

### 4.8.1.2 Perhitungan Penulangan Kolom



**Gambar 4. 30** Diagram interaksi aksial vs momen kolom

Dari hasil analisis kolom menggunakan program bantu *spColumn*, didapat hasil analisa sebagai berikut:

- Rasio tulangan longitudinal = 1,25 %
- Penulangan 12D25 =  $A_s = 5.892 \text{ mm}^2$
- $I_x = 2,00083 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $I_y = 2,00083 \times 10^{10} \text{ mm}^4$
- $A_g = 490000 \text{ mm}^2$

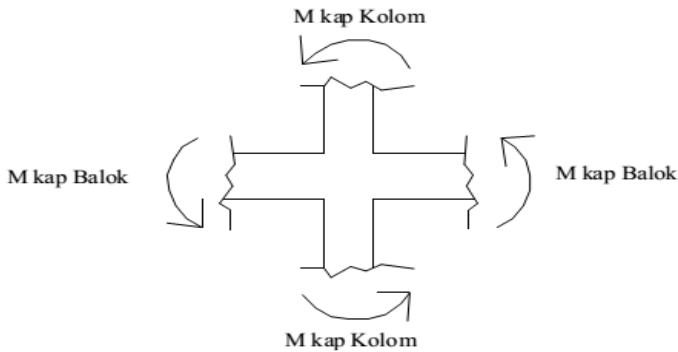
### 4.8.2 Kontrol Kapasitas Beban Aksial Kolom

#### 4.8.2.1 Persyaratan “Strong Column Weak Beams”

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI-2847-2013 pasal 21.6.2 mensyaratkan bahwa.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Dimana  $\sum M_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\sum M_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau yang dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong kolom weak beam*.



**Gambar 4. 31** Ilustrasi Kuat Momen yang Bertemu di HBK

Dari hasil analisa *SpColumn* didapatkan nilai  $\phi M_n = 1049$  kNm dan  $\phi = 0,65$

$$\text{Maka, } M_n = \frac{\phi M_n}{\phi} = \frac{1049}{0,65} = 1613,8 \text{ kNm}$$

$M_{nc}$  didapat:

$$\sum M_{nc} = 2 \times (1613,8) = 3227,7 \text{ kNm}$$

Nilai  $M_g$  dicari dari jumlah  $M_{nb+}$  dan  $M_{nb-}$  balok yang menyatu dengan kolom didapat dari  $M_n$  di tabel penulangan balok interior. Diperoleh bahwa:

$$M_{nb+} = 152,276 \text{ kNm}$$

$$M_{nb-} = 181,602 \text{ kNm}$$

Sehingga

$$\sum M_{nb} = 0,85 \times (181,602 + 152,276) = 283,7963 \text{ kNm}$$

$$\text{Persyaratan } \begin{matrix} \text{Strong} & \text{Column} & \text{Weak} & \text{Beam} \end{matrix} \quad \sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb}$$

Maka:

$$3227,7 \text{ kNm} > 1,2 \times 283,7963 \text{ kNm}$$

$$3227,7 \text{ kNm} > 340,55556 \text{ kNm (Ok)}$$

Maka Memenuhi Persyaratan “*Strong Column Weak Beam*”

#### 4.8.2.2 Desain Tulangan *Confinement*

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 total luas penampang *hoops* tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara:

$$A_{SH} = 0,3 \left( \frac{s b_c f_{c'}}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{SH} = \left( \frac{0,09 s b_c f_{c'}}{f_{yt}} \right)$$

Digunakan tulangan dengan diameter 13 mm untuk *hoops*.

$b_c$  = lebar penampang inti beton (yang terkekang)

$$= b_w - 2 \left( 40 + \frac{1}{2} d_b \right) = 607 \text{ mm}$$

$A_{ch}$  = luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar *hoops* ke serat terluar *hoops* di sisi lainnya.

$$= (b_w - 2 (40)) \times (b_w - 2 (40)) = (700 - 80)^2 \\ = 384400 \text{ mm}^2$$

Sehingga ,

$$A_{SH} = 0,3 \left( \frac{s b_c f_{c'}}{f_{yt}} \right) \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \\ = 0,3 \left( \frac{607 \times 30}{320} \right) = 4,69 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\left( \frac{0,09 s b_c f_{c'}}{f_{yt}} \right) = \left( \frac{0,09 \times 607 \times 30}{320} \right) = 5,12 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi diambil nilai yang paling terbesar, yaitu 5,12

$$\text{mm}^2/A_{SH} = \text{mm}$$

SNI pasal 21.6.4.3

Spasi maksimum adalah ynag terkecil diantara :

1.  $\frac{1}{4} h = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$
2.  $6 d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 3. \quad S_o &\leq 100 + \frac{350-h_x}{3} \\
 &\leq 100 + \frac{350-206}{3} \\
 &\leq 148
 \end{aligned}$$

$h_x$  = spasi horisontal maksimum kaki kaki pengikat silang(206 mm)

Dari ketiga persyaratan diatas maka diambil spasi sebesar 100 mm. Maka luas penampang hoops yang digunakan adalah  $A_{SH} = 5,12 \times 100 = 512 \text{ mm}^2$

Jadi digunakan 4 kaki baja D 13 dengan luas penampang =  $531 \text{ mm}^2 > 512 \text{ mm}^2$ .

SNI 2847 : 2013 pasal 21.6.4.1

Tulangan hoop tersebut diperlukan sepanjang  $l_o$  dari ujung ujung kolom dipilih yang terbesar antara :

1.  $h_{kolom}$  = 700 mm
2.  $\frac{1}{6}$  tinggi kolom = 666,67 mm
3. 450 mm

Jadi diambil  $l_o$  = 700 mm

SNI 2847 : 2013 pasal 21.6.4.5

Sepanjang sisa tinggi kolom bersih ( tinggi kolom total dikurangi  $l_o$  di masing masing ujung kolom) diberi hoops 150 mm, atau 6 kali diameter tulangan longitudinal =  $6 \times 25 = 150 \text{ mm}$ .

Desain Tulangan Geser

Ve tidak perlu lebih besar dari  $V_{sway}$  yang dihitung berdasarkan  $M_{pr}$  balok dengan panjang bentang bersih 3,3 m :

$$V_{sway} = \frac{2 \times M_{pr}}{l_u} = \frac{2 \times (1981,56 + 1321,04)}{3300} = 484830,5017 \text{ N} \\ = 484,83 \text{ KN}$$

Akan tetapi  $V_e$  tidak boleh lebih kecil dari gaya geser hasil analisa *SAP 2000* yaitu 78,58 KN. Maka diambil nilai  $V_{e-min} = 483,83 \text{ KN}$ .

$V_c$  dapat diambil = 0 jika  $V_e$  akibat gempa lebih besar dari  $\frac{1}{2} V_u$  dan gaya aksial terfaktor pada kolom tidak melampaui  $0,05 A_g f_c'$ . Kenyataannya pada kolom yang didesain  $V_e$  melebihi  $0,05 A_g f_c'$ , maka  $V_c$  dapat diperhitungkan.

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{6} b_w d \\ = \frac{\sqrt{30}}{6} \times 700 \times (700 - 40 - 25) \\ = 405451,6 \text{ N} = 405,45 \text{ KN}$$

Kontrol desain apakah membutuhkan tulangan geser atau tidak, yaitu :

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{484,83}{0,75} = 646,4 \text{ KN}$$

$$\frac{1}{2} V_c = \frac{1}{2} 405,45 = 202,725 \text{ KN.}$$

Didapatkan  $\frac{V_u}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$  maka dibutuhkan tulangan geser.

Tulangan geser yang dibutuhkan dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$V_c + \frac{1}{3} b_w d = 202,725 + \frac{1}{3} \times 750 \times 635 \\ = 559,45 \text{ KN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} = 646,4 \text{ KN}$$



Sehingga didapatkan tulangan geser minimum karena nilai  $V_c + \frac{1}{3}b_w d < \frac{V_u}{\phi}$ .

$$A_{v-min} = \frac{1}{3} \frac{b_w s}{f_y}$$

Karena sebelumnya telah dipasang tulangan *confinement* 4 kaki D13 dengan spasi 100 mm. Berarti :

$$\begin{aligned} A_{v-min} &= \frac{1}{3} \frac{700 \times 100}{320} \\ &= 72,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sementara itu,  $A_{sh}$  untuk 4 kaki D13 = 531 mm<sup>2</sup> >  $A_{v-min}$  (OK)

Untuk bentang di luar  $l_o$  memberikan harga untuk  $V_c$  :

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_w d$$

$N_u$  = gaya aksial terkecil dari gaya-gaya yang diperoleh dari analisa struktur.

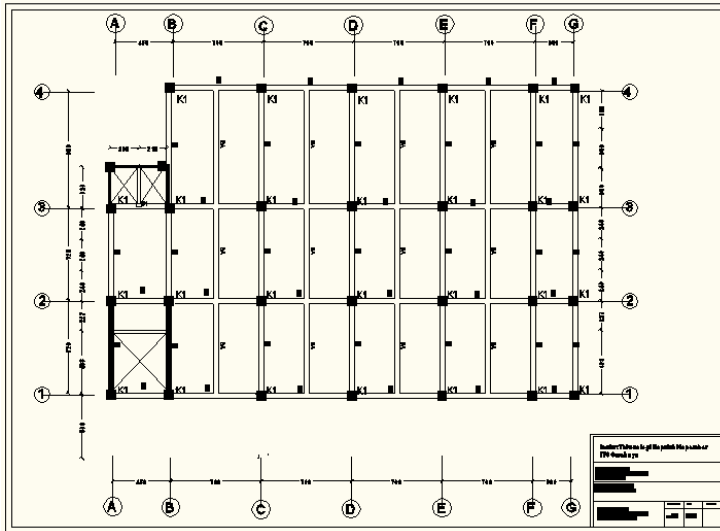
$\lambda = 1$  untuk beton normal (SNI 2847 : 2013 pasal 8.6.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{13855}{14 \times 490000} \right) 1 \times \sqrt{30} \times 700 \times 635 \\ &= 2150,575 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas hasil yang diperoleh lebih kecil dari  $\frac{V_u}{\phi}$  maka pada bentang ini juga dibutuhkan tulangan geser minimum.

#### 4.9 Perencanaan Dinding Geser

Dinding geser (*Shearwall*) direncanakan untuk menerima geser bidang dan momen lentur akibat gempa dan pada bab ini bangunan memiliki tinggi sekitar 44 meter.



**Gambar 4. 32** Denah penempatan shearwall

Data perencanaan adalah sebagai berikut:

Mutu beton ( $f'_c$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 320 MPa
Tebal dinding geser	= 20 cm
Bentang shearwall	= 3,2 m (Arah Y)
	= 4,5 m (Arah X)
Tinggi shearwall	= 44 m (keseluruhan)
Tebal selimut beton	= 40 mm

#### 4.9.1 Perencanaan Dinding Geser Arah Y

##### 4.9.1.1 Penulangan Dinding Geser

SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2 mengharuskan baja tulangan vertikal dan horisontal masing masing dipasang 2 lapis apabila gaya geser bidang terfaktor yang bekerja pada dinding melebihi :

$$0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

$$A_{cv} = (3,2 - 0,7) \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

Untuk beton normal  $\lambda = 1$  , sehingga

$0,17 \times 0,5 \times 1 \sqrt{30} = 465,56 \text{ kN}$  .  
 $V_u = 453,638 \text{ kN} < 465,56 \text{ kN}$  ,sehingga hanya dibutuhkan 1 lapis tulangan.

#### 4.9.1.2 Kebutuhan Penulangan

SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1 mengharuskan rasio tulangan longitudinal dan transversal minimum adalah 0,0025, dan spasi maksimum masing masing arah tulangan adalah 450 mm. Kecuali jika  $V_u < A_{cv} \lambda \sqrt{f'c'}$  rasio penulangan dapat direduksi sesuai pasal 14.3.

Luas tulangan per meter panjang

$$A_g = 0,2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,2 \text{ m}^2$$

Luas tulangan minimal kebutuhan tulangan per meter panjang arah longitudinal dan transversal :

- Tulangan transversal dengan  $\rho_t = 0,0015$   
 $= 0,2 \text{ m}^2 \times 0,0015 = 0,0003 \text{ m}^2$   
Maka dengan diameter tulangan D19 diperoleh  
 $n = \frac{300}{283,528737} = 1,06 = 2 \text{ tulangan}$   
Spasi =  $\frac{1000}{2} = 500 > 450$  (Not Ok) digunakan spasi 300 mm.
- Tulangan longitudinal dengan  $\rho_l = 0,0025$   
 $= 0,2 \text{ m}^2 \times 0,0025 = 0,0005 \text{ m}^2$   
Maka dengan diameter tulangan D19 diperoleh  
 $n = \frac{500}{283,528737} = 1,76 = 2 \text{ tulangan}$

Spasi =  $\frac{1000}{2} = 500 > 450$  (Not Ok) digunakan spasi 300 mm.

Digunakan tulangan 2D 19 -300 mm

#### 4.9.1.3 Menentukan Tulangan Geser

Dengan menggunakan konfigurasi penulangan sebelumnya yaitu 2D19-300. Maka didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser nominal dihitung :

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \leq 1,5$$

$$= 0,17 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \geq 2$$

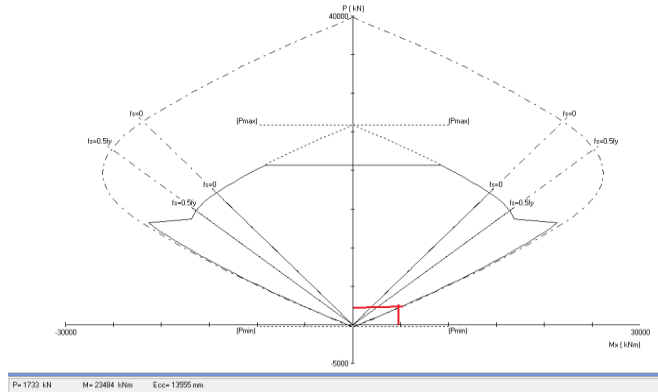
$$= 0,17 - 0,25 \text{ untuk } 1,5 \geq \frac{h_w}{l_w} \geq 2$$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{44}{3,3} = 13,75$$

Maka digunakan  $\alpha_c = 0,15$

Rasio tulangan transversal :

$$\rho_t = \frac{2 \times 283,528737}{300 \times 200} = 0,2 \text{ m}^2$$



**Gambar 4. 33** Diagram tulangan geser *shearwall* 1

Berdasarkan diagram diatas digunakan tulangan tambahan di masing masing ujung penampang sebanyak 12 D25.

#### 4.9.1.4 Komponen Struktur Batas

Berdasarkan pendekatan tegangan dengan  $P_u = 7272,404$  kN dan momen terfaktor sebesar 675,552 kN didapatkan :

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u y}{I}$$

$$\frac{7272,404}{0,49} + \frac{675,552 \times 1,6}{\frac{1}{6} \times 0,2 \times 3,2}$$

= 14,85 > 0,2fc' (6 Mpa) , maka dibutuhkan komponen struktur batas.

Berdasarkan pendekatan perpindahan dimana didapatkan *displacement* dari hasil analisa SAP 2000 sebesar 3,6 mm.

$$c > \frac{I_w}{600 \left( \frac{\delta_u}{h_w} \right)}, \text{ dimana } \frac{\delta_u}{h_w} \geq 0,007$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{3,6}{4000} = 0,001125 < 0,007$$

$$A_s = 5890 \text{ mm}^2 \text{ ( 12 tulangan pada boundary area)}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times b} \\ &= \frac{5890 \times 320}{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 700} \\ &= 126,3 \text{ mm} < \frac{3200}{600(0,007)}, \text{ maka tidak dibutuhkan komponen} \\ &\text{struktur batas.} \end{aligned}$$

Namun dalam hal ini apabila salah satu persyaratan diatas menganjurkan menggunakan komponen struktur batas maka harus menggunakannya. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4 komponen batas harus dipasang secara horisontal dari sisi tekan terluar tidak kurang dari :

$$\begin{aligned} c - 0,1 L_w &= 126,3 - 0,1 \times 3200 &= -193,7 \text{ mm} \\ c/2 &= 126,3/2 &= 63,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

dari perhitungan diatas digunakan  $c = 70 \text{ mm}$  untuk mempermudah perhitungan..

#### 4.9.1.5 Penulangan Komponen Batas

Tulangan Longitudinal

Sesuai perhitungan sebelumnya digunakan tulangan 12D25 + 2D19 pada daerah komponen khusus.

#### 4.9.1.6 Tulangan Confinement

Digunakan tulangan dengan diameter 13 mm untuk *hoops*.

$$\begin{aligned} b_c &= \text{lebar penampang inti beton (yang terkekang)} \\ &= b_w - 2(40 + \frac{1}{2} d_b) = 607 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\left( \frac{0,09 s_b c f_c'}{f_{yt}} \right) = \left( \frac{0,09 \times 607 \times 30}{320} \right) = 5,12 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi diambil nilai yang paling terbesar, yaitu 5,12  
 $\text{mm}^2/A_{SH} = \text{mm}$

SNI pasal 21.6.4.3

Spasi maksimum adalah yang terkecil diantara :

1.  $\frac{1}{4} h = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$
2.  $6d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
3. 
$$s_o \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$\leq 100 + \frac{350 - 206}{3}$$

$$\leq 148$$

$h_x$  = spasi horisontal maksimum kaki kaki pengikat silang  
 (206 mm)

Dari ketiga persyaratan diatas maka diambil spasi sebesar  
 100 mm. Maka luas penampang hoops yang digunakan adalah  
 $A_{SH} = 5,12 \times 100 = 512 \text{ mm}^2$

Jadi digunakan 4 kaki baja D 13 dengan luas penampang = 531  
 $\text{mm}^2 > 512 \text{ mm}^2$ .

## 4.9.2 Perencanaan Dinding Geser Arah X

### 4.9.2.1 Penulangan Dinding Geser

SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2 mengharuskan baja tulangan vertikal dan horisontal masing masing dipasang 2 lapis apabila gaya geser bidang terfaktor yang bekerja pada dinding melebihi :

$$0,17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'c'}$$

$$A_{cv} = (3,2 - 0,7) \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}^2$$

Untuk beton normal  $\lambda = 1$  , sehingga

$$0,17 \times 0,5 \times 1 \sqrt{30} = 465,56 \text{ kN} .$$

$V_u = 1346,759 \text{ kN} < 465,56 \text{ kN}$  ,sehingga dibutuhkan 2 lapis tulangan.

#### 4.9.2.2 Kebutuhan Penulangan

SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1 mengharuskan rasio tulangan longitudinal dan transversal minimum adalah 0,0025, dan spasi maksimum masing masing arah tulangan adalah 450 mm. Kecuali jika  $V_u < A_{cv} \lambda \sqrt{f'c'}$  rasio penulangan dapat direduksi sesuai pasal 14.3.

Luas tulangan per meter panjang

$$A_g = 0,2 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,2 \text{ m}^2$$

Luas tulangan minimal kebutuhan tulangan per meter panjang arah longitudinal dan transversal :

- Tulangan transversal dengan  $\rho_t = 0,0015$

$$= 0,2 \text{ m}^2 \times 0,0015 = 0,0003 \text{ m}^2$$

Maka dengan diameter tulangan D19 diperoleh

$$n = \frac{300}{283,528737} = 1,06 = 2 \text{ tulangan}$$

$$\text{Spasi} = \frac{1000}{2} = 500 > 450 \text{ (Not Ok) digunakan spasi } 300 \text{ mm.}$$

- Tulangan longitudinal dengan  $\rho_l = 0,0025$

$$= 0,2 \text{ m}^2 \times 0,0025 = 0,0005 \text{ m}^2$$

Maka dengan diameter tulangan D19 diperoleh

$$n = \frac{500}{283,528737} = 1,76 = 2 \text{ tulangan}$$



Spasi =  $\frac{1000}{2} = 500 > 450$  (Not Ok) digunakan spasi 300 mm.

Digunakan tulangan 2D 19 -300 mm

#### 4.9.2.3 Menentukan Tulangan Geser

Dengan menggunakan konfigurasi penulangan sebelumnya yaitu 2D19-300. Maka didasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser nominal dihitung :

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \rho_t f_y)$$

Dimana :

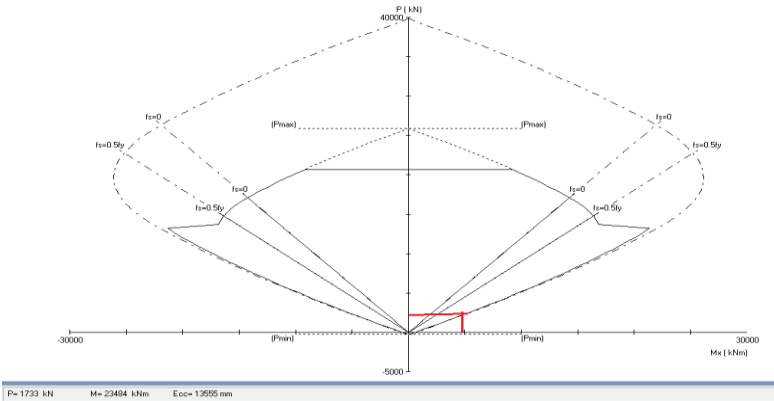
$$\begin{aligned}\alpha_c &= 0,25 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \leq 1,5 \\ &= 0,17 \text{ untuk } \frac{h_w}{l_w} \geq 2 \\ &= 0,17 - 0,25 \text{ untuk } 1,5 \geq \frac{h_w}{l_w} \geq 2\end{aligned}$$

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{44}{3,3} = 13,75$$

Maka digunakan  $\alpha_c = 0,15$

Rasio tulangan transversal :

$$\rho_t = \frac{2 \times 283,528737}{300 \times 200} = 0,2 \text{ m}^2$$



**Gambar 4. 34** Diagram tulangan geser *shearwall 2*

Berdasarkan diagram diatas digunakan tulangan tambahan di masing masing ujung penampang sebanyak 12 D25.

#### 4.9.2.4 Komponen Struktur Batas

Berdasarkan pendekatan tegangan dengan  $P_u = 7272,404$  kN dan momen terfaktor sebesar 675,552 kN didapatkan :

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u y}{I}$$

$$\frac{7272,404}{0,49} + \frac{675,552 \times 1,6}{\frac{1}{6} \times 0,2 \times 3,2}$$

= 14,85 > 0,2fc' (6 Mpa) , maka dibutuhkan komponen struktur batas.

Berdasarkan pendekatan perpindahan dimana didapatkan *displacement* dari hasil analisa SAP 2000 sebesar 3,6 mm.

$$c > \frac{I_w}{600 \left( \frac{\delta_u}{h_w} \right)}, \text{ dimana } \frac{\delta_u}{h_w} \geq 0,007$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{3,6}{4000} = 0,001125 < 0,007$$

$$A_s = 5890 \text{ mm}^2 \text{ ( 12 tulangan pada boundary area)}$$

$$c = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times b}$$

$$= \frac{5890 \times 320}{0,85 \times 30 \times 0,836 \times 700}$$

$$= 126,3 \text{ mm} < \frac{4500}{600(0,007)}, \text{ maka tidak dibutuhkan komponen struktur batas.}$$

Namun dalam hal ini apabila salah satu persyaratan diatas menganjurkan menggunakan komponen struktur batas maka harus menggunakannya. Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.9.6.4 komponen batas harus dipasang secara horisontal dari sisi tekan terluar tidak kurang dari :

$$\begin{aligned} c - 0,1 L_w &= 126,3 - 0,1 \times 3200 &= -193,7 \text{ mm} \\ c/2 &= 126,3/2 &= 63,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

dari perhitungan diatas digunakan  $c = 70 \text{ mm}$  untuk mempermudah perhitungan..

### **Penulangan Komponen Batas**

Tulangan Longitudinal

Sesuai perhitungan sebelumnya digunakan tulangan 12D25 + 2D19 pada daerah komponen khusus.

#### **4.9.2.5 Tulangan Confinement**

Digunakan tulangan dengan diameter 13 mm untuk *hoops*.

$b_c$  = lebar penampang inti beton (yang terkekang)

$$= b_w - 2(40 + \frac{1}{2} d_b) = 607 \text{ mm}$$

$$\left( \frac{0,09 s_b c f_c'}{f_{yt}} \right) = \left( \frac{0,09 \times 607 \times 30}{320} \right) = 5,12 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi diambil nilai yang paling terbesar, yaitu 5,12  
 $\text{mm}^2/A_{SH} = \text{mm}$

SNI pasal 21.6.4.3

Spasi maksimum adalah ynag terkecil diantara :

4.  $\frac{1}{4} h = \frac{700}{4} = 175 \text{ mm}$
5.  $6d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
6. 
$$s_o \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$\leq 100 + \frac{350 - 206}{3}$$

$$\leq 148$$

$h_x$  = spasi horisontal maksimum kaki kaki pengikat silang  
 (206 mm)

Dari ketiga persyaratan diatas maka diambil spasi sebesar 100 mm. Maka luas penampang hoops yang digunakan adalah  $A_{SH} = 5,12 \times 100 = 512 \text{ mm}^2$ . Jadi digunakan 4 kaki baja D 13 dengan luas penampang =  $531 \text{ mm}^2 > 512 \text{ mm}^2$ .

## 4.10 Perencanaan Sambungan

### 4.10.1 Umum

Sambungan pada elemen pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Berfungsi mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Bila tidak direncanakan dengan baik (baik dari segi penempatan sambungan maupun kekuatannya) maka sambungan dapat mengubah aliran gaya pada struktur pracetak, sehingga dapat mengubah hirarki keruntuhan yang ingin

dicapai dan pada akhirnya dapat menyebabkan keruntuhan prematur pada struktur. Kelemahan konstruksi pracetak adalah terletak pada sambungan yang

relatif kurang kaku atau monolit, sehingga lemah terhadap beban lateral khususnya dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan antara elemen balok pracetak dengan kolom maupun dengan plat pracetak direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit. Elemen pracetak dengan tuangan beton *cast in place* di atasnya, diharapkan sambungan elemen tersebut memiliki perilaku yang mendekati sama dengan struktur monolit. Gaya-gaya disalurkan antara komponen-komponen struktur dengan menggunakan pelapisan dengan beton bertulang cor setempat. Sambungan elemen pracetak meliputi sambungan pelat pracetak dengan balok pracetak, sambungan balok pracetak dengan kolom, dan balok pracetak dengan balok pracetak. Panjang lekatan setidaknya tiga puluh kali diameter tulangan. Kait digunakan kalau panjang penyaluran yang diperlukan terlalu panjang. Panjang pengankuran yang didapat dari eksperimen adalah antara 8 kali diameter sampai 15 kali diameter pada sisi yang tidak mengalami retak. Guna mengatasi kondisi terburuk sebaiknya digunakan tiga puluh kali diameter tulangan.

#### 4.10.2 Konsep Desain Sambungan

Konsep desain sambungan pada perencanaan Gedung Stikes RS Anwar Medika ini adalah dengan pengankuran didaerah join menggunakan tulangan kait. Karena digunakan tulangan berkait maka panjang penyalurannya ditetapkan sebagai berikut :

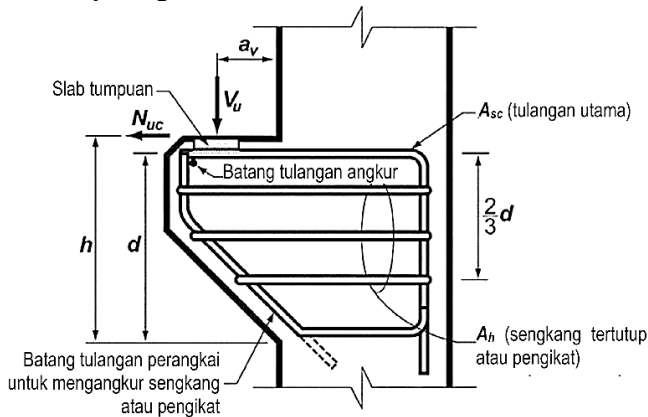
- Untuk tulangan diameter 10 mm hingga 36 mm, panjang penyaluran  $I_{dh}$  untuk tulangan tarik dengan kait standar  $90^\circ$  dalam beton normal dan tidak boleh diambil lebih kecil dari  $8d_b$ , 150 mm , dan nilai yang ditentukan oleh

$$I_{dh} = \frac{f_y d_b}{5,4 \sqrt{f'c}}$$

### 4.10.3 Perencanaan Sambungan Balok dan Kolom

#### 4.10.3.1 Perencanaan Konsol pada Kolom

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratanyang diatur dalam SNI 2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar berikut ini:



**Gambar 4. 35** Geometrik konsol pendek

#### Data perencanaan

$V_u$  output analisis dengan software SAP2000 = 103270 N

Dimensi Balok = 50/70

Dimensi konsol:

$b_w$  = 500 mm

$h$  = 400 mm

$d$  =  $400 - 40 - 16 = 344$  mm

$f_{c'}$  = 30 MPa

$f_y$  = 320 MPa

$a_v$  = 150 mm

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847:2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 150 / 335 = 0,44 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \geq 0,2V_u$   
 $N_{uc} = 0,2 \times 103270 = 16188,2 \text{ N}$   
 $N_{uc} \text{ (dari SAP 2000)} = 22750 \text{ N}$   
 maka  $N_{uc} = 22750 \text{ N}$  (terbesar)

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser

$V_n$  untuk beton normal adalah

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{103270}{0,75} = 137693,3 \text{ N}$$

#### a. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

- a)  $0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 30 \times 500 \times 344$   
 $= 1032000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$
- b)  $(3,3 + 0,08 f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 30) 500 \times 344$   
 $= 2941200 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$
- c)  $11 b_w d = 11 \times 500 \times 344$   
 $= 1892000 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu}$$

$$= \frac{137693,3}{320 \times 1,4}$$

$$= 307,351 \text{ mm}^2$$

#### b. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral

ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan  $N_{uc}$  minimum.

$$\begin{aligned} Mu &= V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\ &= (103270 \times 150) + (22750 \times (400-344)) \\ &= 16764500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vf-1} &= \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ &= \frac{137693,3}{320 \times 1,4} \\ &= 307,351 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{vf-2} &= \frac{M_u}{0,85 \times \phi \times f_y \times d} \\ &= \frac{16764500}{0,85 \times 0,75 \times 320 \times 344} \\ &= 238,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai } A_{vf-1} = 307,351 \text{ mm}^2$$

### Tulangan pokok $A_s$

$$\begin{aligned} A_n &= \frac{N_{uc}}{f_y \times \phi} \\ &= \frac{22750}{320 \times 0,75} = 94,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### **c. Pemilihan Tulangan**

Menurut SNI 2847:13 pasal 11.8.3.5 bahwa :

$$\begin{aligned} A_{sc} &= A_{vf} + A_n \\ &= 307,351 + 94,8 \\ &= 402,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan yang dibutuhkan pada konsol adalah 3 D16 ( $A_s = 603,2 \text{ mm}^2$ )



Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$\begin{aligned} A_h &= 0,5(A_{sc} - A_n) \\ &= 0,5(402,14 - 94,8) \\ &= 153,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan yang dibutuhkan pada konsol adalah

2 D16 ( $A_s = 401,92 \text{ mm}^2$ )

Dipasang 2/3 d secara vertikal dengan spasi  $100/2 = 50 \text{ mm}$

#### **d. Panjang Penyaluran Balok ke Kolom**

##### **Kondisi tarik**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5, maka :

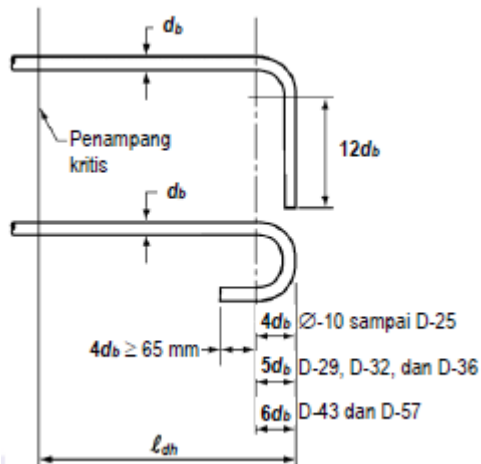
$$\begin{aligned} L_{dh} &> 8d_b = 8 \times 29 = 232 \text{ mm} \\ &> 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### **Kondisi Tekan**

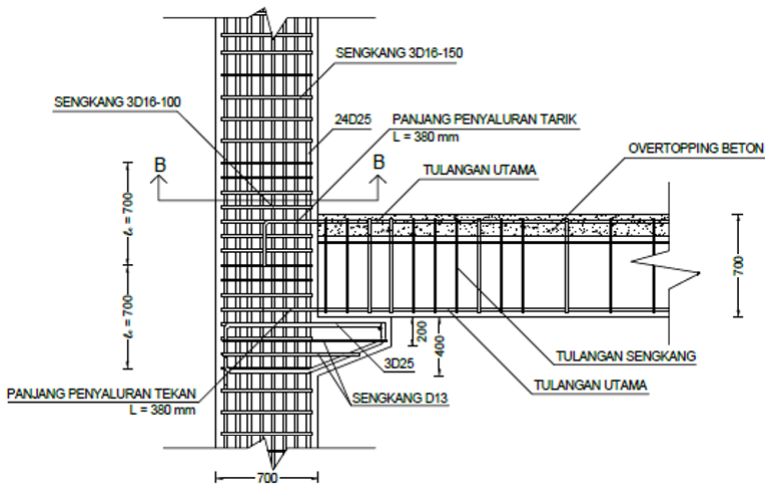
Panjang penyaluran didasarkan pada kondisi tarik dan tekan tulangan .Oleh karena itu berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$\begin{aligned} l_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\ &\geq (0,24 \times 320/1\sqrt{30})29 \\ &\geq 406,63 \text{ mm} \\ l_{dc} &\geq (0,043fy)db \\ &\geq (0,043 \times 320)29 \\ &\geq 399,04\text{mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai  $l_d = 406,63 \approx 450 \text{ mm}$ .



**Gambar 4. 36** Detail batang tulangan dengan kait standar



**Gambar 4. 37** Panjang Penyaluran Balok Induk

#### 4.10.4 Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Balok Anak

##### 4.10.4.1 Perencanaan Konsol pada Balok Induk

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan balok anak dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok anak diletakan pada konsol yang berada pada balok induk yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada balok induk tersebut tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI2847:2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek.

##### 4.10.4.2 Penulangan Konsol pada Balok Induk

###### a. Data perencanaan

Vu output analisis dengan software SAP2000 = 80941 N

Dimensi Balok = 20/20

Dimensi konsol:

bw = 200 mm  
 h = 300 mm  
 d = 300 – 40 – 16 = 244 mm  
 fc' = 30 MPa  
 fy = 320 MPa  
 av = 150 mm

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 2847:2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 2847:2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 2847:2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 150 / 335 = 0,62 < 1 \dots \text{OK}$
- $N_{uc} \geq 0,2V_u$   
 $N_{uc} = 0,2 \times 80941 = 16188,2\text{N}$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser  $V_n$  untuk beton normal adalah

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{80941}{0,75} = 107921,3 \text{ N}$$

### b. Menentukan luas tulangan geser friksi

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser  $V_n$  tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$\text{d) } 0,2 f_c' \times b_w \times d = 0,2 \times 30 \times 200 \times 244 \\ = 292800 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$\text{e) } (3,3 + 0,08 f_c') b_w d = (3,3 + 0,08 \times 30) 200 \times 244 \\ = 278160 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$\text{f) } 11 b_w d = 11 \times 200 \times 244 \\ = 536800 \text{ N} > V_n \dots \text{OK}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ = \frac{107921,3}{320 \times 1,4}$$

$$= 240,9 \text{ mm}^2$$

### c. Luas tulangan lentur

Perletakan yang akan digunakan dalam konsol pendek ini adalah sendi-rol yang mengijinkan adanya deformasi arah lateral ataupun horizontal, maka gaya horizontal akibat susut jangka panjang dan deformasi rangka balok tidak boleh terjadi. Maka sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan  $N_{uc}$  minimum.

$$M_u = V_{ua} \times a + N_{uc} (h-d) \\ = (107921,3 \times 150) + (16188,2 \times (300-244)) \\ = 13047689,2 \text{ Nmm}$$

$$A_{vf-1} = \frac{V_n}{f_y \times \mu} \\ = \frac{107921,3}{320 \times 1,4} \\ = 240,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{vf-2} = \frac{M_u}{0,85 \times \phi \times f_y \times d}$$

$$= \frac{13047689,2}{0,85 \times 0,75 \times 320 \times 244}$$

$$= 262,13 \text{ mm}^2$$

Dipakai  $A_{vf-1} = 262,13 \text{ mm}^2$

#### Tulangan pokok As

$$A_n = \frac{N_{uc}}{f_y \times \phi}$$

$$= \frac{16188,2}{320 \times 0,75} = 67,45 \text{ mm}^2$$

#### **d. Pemilihan Tulangan**

Menurut SNI 2847:13 pasal 11.8.3.5 bahwa :

$$A_{sc} = A_{vf} + A_n$$

$$= 262,13 + 67,45$$

$$= 308,35 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan yang dibutuhkan pada konsol adalah  
2 D16 ( $A_s = 401,92 \text{ mm}^2$ )

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 11.8.3.4

$$A_h = 0,5(A_{sc} - A_n)$$

$$= 0,5(308,35 - 67,45)$$

$$= 120,45 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan yang dibutuhkan pada konsol adalah  
2 D16 ( $A_s = 401,92 \text{ mm}^2$ )

Dipasang 2/3 d secara vertikal dengan spasi  $100/2 = 50 \text{ mm}$

#### **e. Panjang Penyaluran Balok Anak ke Balok Induk**

##### Kondisi tarik

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 12.5, maka :

$$L_{dh} > 8d_b = 8 \times 19 = 152 \text{ mm}$$

$$> 150 \text{ mm}$$

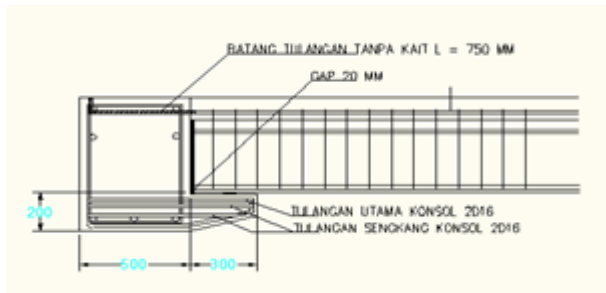
### **Kondisi Tekan**

Panjang penyaluran didasarkan pada kondisi tarik dan tekan tulangan. Oleh karena itu berdasarkan SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3.2 maka :

$$\begin{aligned}
 l_{dc} &\geq (0,24fy/\lambda\sqrt{f'c})db \\
 &\geq (0,24 \times 320/1\sqrt{30})19 \\
 &\geq 266,4 \text{ mm} \\
 l_{dc} &\geq (0,043fy)db \\
 &\geq (0,043 \times 320)19 \\
 &\geq 261,44 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai  $l_d = 266,4 \approx 300 \text{ mm}$ .

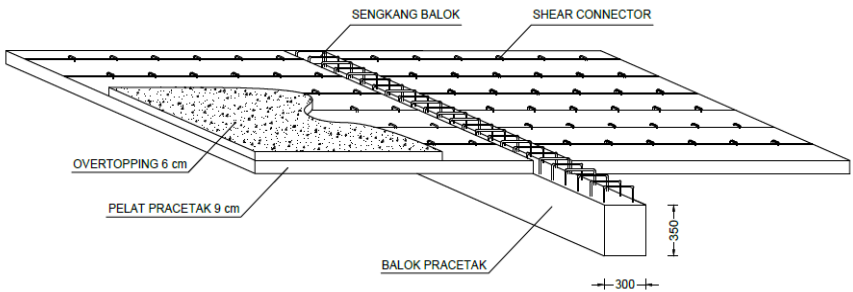
Karena dipakai panjang penyaluran tanpa kait maka dikalikan  $2,5 = 750 \text{ mm}$ .



**Gambar 4. 38** Panjang Penyaluran Balok Anak

#### **4.10.5 Perencanaan Sambungan Pelat dan Balok**

Sambungan antara balok dengan pelat mengandalkan adanya tulangan tumpuan yang dipasang memanjang melintang tegak lurus di atas balok (menghubungkan stud – stud pelat). Selanjutnya pelat pracetak yang sudah dihubungkan stud-studnya tersebut diberi overtopping dengan cor setempat.



**Gambar 4. 39** Panjang Penyaluran Pelat

#### 4.10.5.1 Panjang Penyaluran Tulangan Pelat Type C

Bedasarkan perhitungan pada bab sebelumnya, didapatkan hasil penulangan pada pelat type C sebagai berikut:

$$d_b = 10 \text{ mm}$$

Arah X – As perlu	: 420 mm <sup>2</sup>
As terpasang	: 471,24 mm <sup>2</sup>
Arah Y – As perlu	: 176 mm <sup>2</sup>
As terpasang	: 176 mm <sup>2</sup>

##### a. Penyaluran Arah X

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq \frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12fy\alpha\beta\lambda}{25\sqrt{f'c}} = \frac{12 \times 320 \times 10}{25\sqrt{30}} = 280,5$$

Dengan:

$\alpha$  : faktor lokasi penulangan = 1

$\beta$  : faktor pelapis = 1

$\lambda$  : faktor beton normal = 1

Dipakai  $\ell_d = 300 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d \geq \frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12fy\alpha\beta\lambda}{25\sqrt{fc'}} = \frac{12 \times 320 \times 10 \times 1,7}{25\sqrt{30}} = 476,74 \text{ mm}$$

dengan  $\alpha\beta = 1,7$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 390 = 137,6 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 500 \text{ mm}$

#### b. Penyaluran Arah Y

- Kondisi tarik

$$\ell_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq \frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12fy\alpha\beta\lambda}{25\sqrt{fc'}} = \frac{12 \times 320 \times 8}{25\sqrt{30}} = 224,35 \text{ mm}$$

Dengan:

$\alpha$  : faktor lokasi penulangan = 1

$\beta$  : faktor pelapis = 1

$\lambda$  : faktor beton normal = 1

Dipakai  $\ell_d = 300 \text{ mm}$

- Kondisi tekan

Sesuai SNI 03-2847-2013 Pasal 12.3

$$\ell_d \geq \frac{\lambda_d}{d_b} = \frac{12fy\alpha\beta\lambda}{25\sqrt{fc'}} = \frac{12 \times 320 \times 8 \times 1,7}{25\sqrt{30}} = 381,39 \text{ mm}$$

dengan  $\alpha\beta = 1,7$

$$\ell_d \geq 200 \text{ mm}$$

$$\ell_d \geq 0,043 d_b f_y$$

$$\geq 0,043 \times 10 \times 390 = 137,6 \text{ mm}$$

Dipakai  $\ell_d = 400 \text{ mm}$



## 4.11 Perencanaan Pondasi

### 4.11.1 Umum

Perencanaan pondasi merupakan perencanaan struktur bawah bangunan. Pondasi pada umumnya berlaku sebagai komponen struktur pendukung bangunan yang terbawah dan berfungsi sebagai elemen terakhir yang meneruskan beban ke tanah. Pondasi pada gedung ini direncanakan memakai pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* produk dari PT Wijaya Karya Beton. Pembahasan pada bab perencanaan pondasi meliputi perencanaan jumlah tiang pancang yang dibutuhkan, perencanaan poer (*pile cap*) dan perencanaan sloof (*Tie beam*).

### 4.11.2 Data Tanah

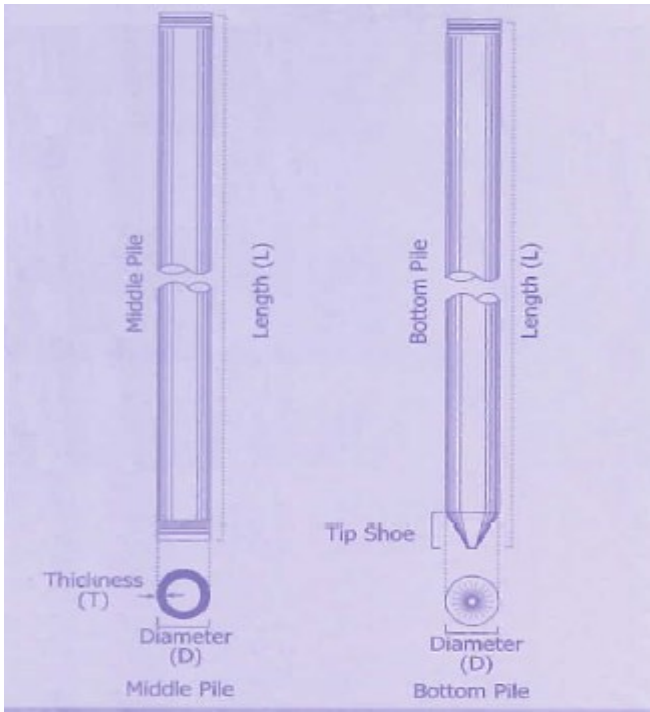
Data tanah diperlukan untuk merencanakan pondasi yang sesuai dengan jenis dan kemampuan daya dukung tanah tersebut. Data tanah didapatkan melalui penyelidikan tanah pada lokasi dimana struktur tersebut akan dibangun. Dalam hal ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi gedung Stikes Anwar Medika yang berada di Krian , Sidoarjo..

### 4.11.3 Kriteria Design

#### 4.11.3.1 Spesifikasi Tiang Pancang

Pada perencanaan pondasi gedung ini, digunakan pondasi tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* produk dari PT Wijaya Karya Beton.

1. Tiang pancang beton pracetak (*precast concrete pile*) dengan bentuk penampang bulat.
2. Mutu beton tiang pancang  $f_c' = 52 \text{ MPa}$  atau K-600 (*Cube*  $600 \text{ kg/cm}^2$ ).



**Gambar 4. 40** *Prestressed Concrete Spun Pile*

Berikut ini, spesifikasi tiang pancang yang akan digunakan,

- *Size* : 400 mm
- *Thickness Wall* : 75 mm
- *Cross Section* : 766 cm<sup>2</sup>
- *Class* : A2
- *Bending momen crack* : 5,5 tm
- *Bending momen ultimate* : 8,25 tm
- *Allowable Compression* : 121,1 ton
- *Length of Pile* : 6 – 16 m

#### 4.11.4 Daya Dukung

##### 4.11.4.1 Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Data SPT (Standard Penetration Test) dari lapangan tidak langsung dapat digunakan untuk perencanaan tiang pancang. Harus dilakukan koreksi dahulu terhadap data SPT asli, sebagai berikut :

##### 1. Koreksi terhadap muka air tanah

Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada dibawah muka air tanah dan hanya bila  $N > 15$  :

a)  $N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N - 15)$  (Terzaghi & Peck, 1960)

b)  $N_1 = 0,6 N$  (Bazaraa, 1967)

Pilih harga  $N_1$  yang terkecil dari a) dan b) tersebut.

Untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar dan bila  $N < 15$ , tidak ada koreksi. Jadi  $N_1 = N$

##### 2. Koreksi terhadap *Overburden Pressure* dari tanah.

Hasil dari koreksi 1 ( $N_1$ ) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertikal efektif pada lapisan tanah dimana harga  $N$  tersebut didapatkan (tekanan vertikal efektif = overburden pressure).

$$N_2 = \frac{4N_1}{1+0,4p_o} \quad ; \text{ bila } p_o \leq 7,5 \text{ ton/m}^2 \text{ atau } N_2 = \frac{4N_1}{3,25+0,1p_o} ;$$

$$\text{bila } p_o \geq 7,5 \text{ ton/m}^2$$

$p_o$  : tekanan tanah vertikal efektif pada lapisan/  
kedalaman yang ditinjau.

**Tabel 4. 25** Daya Dukung Tanah

Depth (m)	N (blow/ft)	L/P	N >15sand	$\gamma_{sat}$ (t/m3)	$\gamma'$ (t/m3)	$p_o$ (ton/m2)	N Corr	2N	Qujung (ton)	$f_{si}$ (ton/m2)	Rsi (ton)	$\Sigma$ Rsi (ton)	Qult = Qujung + $\Sigma$ Rsi	Qijin = Qult/SF SF=3 ; (ton)
1	<b>0,00</b>	L	0,000	1,732	0,732	0,366	0,000	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1,5	0,00	L	0,000	1,732	0,732	0,732	0,000	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2,0	0,00	L	0	<b>1,732</b>	0,732	1,098	0,000	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>0,00</b>
2,5	0,00	L	0	1,698	0,698	1,447	0,000	0	6,03	0,00	0,00	0,00	6,03	<b>2,01</b>
3,0	<b>3,00</b>	L	3	1,698	0,698	1,796	6,983	6	12,40	3,00	1,88	1,88	14,28	<b>4,76</b>
3,5	3,17	L	3,167	<b>1,698</b>	0,698	2,145	6,817	6,3333	19,10	3,17	1,99	3,87	22,98	<b>7,66</b>
4,0	3,33	L	3,333	1,694	0,694	2,492	6,677	6,6667	25,69	3,33	2,09	5,97	31,66	<b>10,55</b>
4,5	3,50	L	3,5	1,694	0,694	2,839	6,556	7	32,17	3,28	2,06	8,03	40,20	<b>13,40</b>
5,0	3,67	L	3,667	<b>1,694</b>	0,694	3,186	6,449	7,3333	32,52	3,22	2,03	10,05	42,58	<b>14,19</b>
5,5	3,83	L	3,833	1,708	0,708	3,54	6,347	7,6667	32,44	3,17	1,99	12,05	44,49	<b>14,83</b>
6,0	<b>4,00</b>	L	4	1,708	0,708	3,894	6,256	8	32,94	3,13	1,97	14,01	46,96	<b>15,65</b>
6,5	4,83	L	4,833	<b>1,708</b>	0,708	4,248	7,163	9,6667	34,34	3,58	2,25	16,26	50,61	<b>16,87</b>
7,0	5,67	L	5,667	1,760	0,760	4,628	7,950	11,333	36,57	3,97	2,50	18,76	55,33	<b>18,44</b>

7,5	6,50	L	6,5	1,760	0,760	5,008	8,657	13	39,53	4,33	2,72	21,48	61,01	<b>20,34</b>
8,0	7,33	L	7,333	<b>1,760</b>	0,760	5,388	9,297	14,667	43,17	4,65	2,92	24,40	67,57	<b>22,52</b>
8,5	8,17	L	8,167	1,761	0,761	5,7685	9,877	16,333	46,43	4,94	3,10	27,50	73,94	<b>24,65</b>
9,0	<b>9,00</b>	L	9	1,761	0,761	6,149	10,406	18	49,02	5,20	3,27	30,77	79,79	<b>26,60</b>
9,5	9,50	L	9,5	<b>1,761</b>	0,761	6,5295	10,521	19	51,01	5,26	3,31	34,08	85,09	<b>28,36</b>
10,0	10,00	L	10	1,734	0,734	6,8965	10,642	20	52,48	5,32	3,34	37,42	89,90	<b>29,97</b>
10,5	10,50	L	10,5	1,734	0,734	7,2635	10,754	21	53,57	5,38	3,38	40,80	94,37	<b>31,46</b>
11,0	11,00	L	11	<b>1,734</b>	0,734	7,6305	10,964	22	54,53	5,48	3,44	44,25	98,77	<b>32,92</b>
11,5	11,50	L	11,5	1,758	0,758	8,0095	11,355	23	55,75	5,68	3,57	47,81	103,56	<b>34,52</b>
12,0	<b>12,00</b>	L	12	1,758	0,758	8,3885	11,739	24	53,82	5,87	3,69	51,50	105,32	<b>35,11</b>
12,5	9,00	L	9	<b>1,758</b>	0,758	8,7675	8,724	18	49,76	4,36	2,74	54,24	104,00	<b>34,67</b>
13,0	7,00	L	7	1,876	0,876	9,2055	6,714	14	43,51	3,36	2,11	56,35	99,86	<b>33,29</b>
13,5	5,00	L	5	1,876	0,876	9,6435	4,746	10	34,92	2,37	1,49	57,84	92,77	<b>30,92</b>
14,0	3,00	L	3	<b>1,876</b>	0,876	10,082	2,818	6	24,06	1,41	0,89	58,73	82,79	<b>27,60</b>
14,5	1,00	L	1	1,848	0,848	10,506	0,930	2	15,29	0,47	0,29	59,02	74,31	<b>24,77</b>
15,0	<b>0,00</b>	L	0	1,848	0,848	10,93	0,000	0	8,69	0,00	0,00	59,02	67,71	<b>22,57</b>
15,5	0,17	L	0,167	<b>1,848</b>	0,848	11,354	0,152	0,3333	4,22	0,08	0,05	59,07	63,29	<b>21,10</b>
16,0	0,33	L	0,333	1,848	0,848	11,778	0,301	0,6667	1,84	0,15	0,09	59,16	61,00	<b>20,33</b>

16,5	0,50	L	0,5	1,848	0,848	12,202	0,447	1	1,50	0,22	0,14	59,30	60,80	<b>20,27</b>
17,0	0,67	L	0,667	<b>1,848</b>	0,848	12,626	0,591	1,3333	2,24	0,30	0,19	59,49	61,72	<b>20,57</b>
17,5	0,83	L	0,833	1,848	0,848	13,05	0,732	1,6667	2,96	0,37	0,23	59,72	62,67	<b>20,89</b>
18,0	<b>1,00</b>	L	1	1,848	0,848	13,474	0,870	2	3,95	0,44	0,27	59,99	63,95	<b>21,32</b>
18,5	1,50	L	1,5	<b>1,848</b>	0,848	13,898	1,293	3	5,22	0,65	0,41	60,40	65,62	<b>21,87</b>
19,0	2,00	L	2	1,848	0,848	14,322	1,709	4	6,76	0,85	0,54	60,93	67,69	<b>22,56</b>
19,5	2,50	L	2,5	1,848	0,848	14,746	2,117	5	8,55	1,06	0,66	61,60	70,15	<b>23,38</b>
20,0	3,00	L	3	1,848	0,848	15,17	2,517	6	10,57	1,26	0,79	62,39	72,96	<b>24,32</b>
20,5	3,50	L	3,5	2,848	1,848	16,094	2,881	7	12,49	1,44	0,91	63,29	75,78	<b>25,26</b>
21,0	4,00	L	4	3,848	2,848	17,518	3,199	8	19,29	1,60	1,00	64,30	83,59	<b>27,86</b>
21,5	11,00	L	11	4,848	3,848	19,442	8,471	22	25,15	4,24	2,66	66,96	92,11	<b>30,70</b>
22,0	18,00	P	10,8	5,848	4,848	21,866	7,946	21,6	33,15	1,59	1,00	67,96	101,11	<b>33,70</b>
22,5	25,00	P	15	6,848	5,848	24,79	10,473	30	42,97	2,09	1,32	69,28	112,24	<b>37,41</b>
23,0	32,00	P	19,2	7,848	6,848	28,214	12,650	38,4	54,31	2,53	1,59	70,87	125,17	<b>41,72</b>
23,5	39,00	P	23,4	8,848	7,848	32,138	14,481	46,8	61,86	2,90	1,82	72,69	134,55	<b>44,85</b>
<b>24,0</b>	<b>46,00</b>	<b>P</b>	<b>27,6</b>	<b>9,848</b>	<b>8,848</b>	<b>36,562</b>	<b>15,986</b>	<b>55,2</b>	<b>67,41</b>	<b>3,20</b>	<b>2,01</b>	<b>74,69</b>	<b>142,10</b>	<b>47,37</b>
24,5	41,50	P	24,9	10,848	9,848	41,486	13,462	49,8	68,12	2,69	1,69	76,39	144,51	<b>48,17</b>
25,0	37,00	P	22,2	11,848	10,848	46,91	11,183	44,4	64,59	2,24	1,41	77,79	142,38	<b>47,46</b>

25,5	32,50	P	19,5	12,848	11,848	52,834	9,141	39	57,40	1,83	1,15	78,94	136,34	<b>45,45</b>
26,0	28,00	P	16,8	13,848	12,848	59,258	7,324	33,6	47,07	1,46	0,92	79,86	126,93	<b>42,31</b>
26,5	23,50	P	14,1	14,848	13,848	66,182	5,715	28,2	37,86	1,14	0,72	80,58	118,44	<b>39,48</b>
27,0	<b>19,00</b>	P	11,4	15,848	14,848	73,606	4,298	22,8	31,73	0,86	0,54	81,12	112,85	<b>37,62</b>
27,5	24,17	P	14,5	16,848	15,848	81,53	5,086	29	28,32	1,02	0,64	81,76	110,08	<b>36,69</b>
28,0	29,33	P	17,6	17,848	16,848	89,954	5,749	35,2	27,30	1,15	0,72	82,48	109,77	<b>36,59</b>
28,5	34,50	P	20,7	18,848	17,848	98,878	6,302	41,4	28,35	1,26	0,79	83,27	111,62	<b>37,21</b>
29,0	39,67	P	23,8	19,848	18,848	108,3	6,761	47,6	31,20	1,35	0,85	84,12	115,32	<b>38,44</b>
29,5	44,83	P	26,9	20,848	19,848	118,23	7,139	53,8	33,58	1,43	0,90	85,02	118,59	<b>39,53</b>
30,0	50,00	P	30	21,848	20,848	128,65	7,447	60	34,74	1,49	0,94	85,95	120,70	<b>40,23</b>

Digunakan Kedalaman 24 meter dengan

$P_{ijin} \text{ 1 tiang} = 121,5 \text{ ton}$

Daya Dukung = 47,43 ton

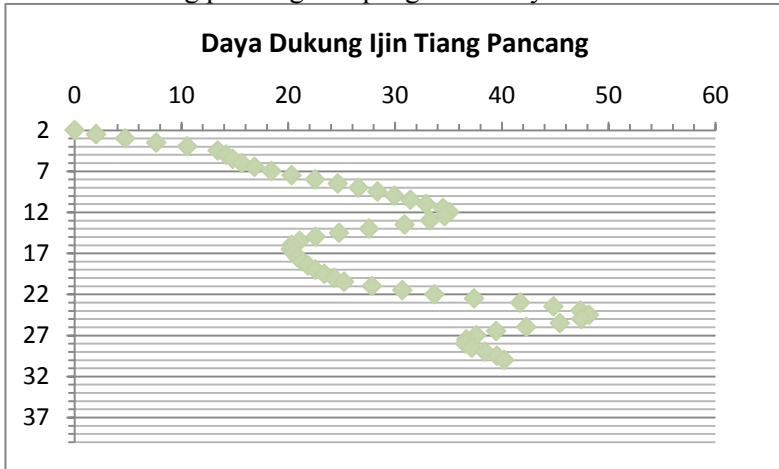
Keterangan:

LL = Lanau berlempung

LP = Lanau berpasir

P = Pasir

Catatan : Perkiraan daya dukung teoritis dengan kenyataan kedalaman tiang pancang di lapangan biasanya selisih + 1-2 meter



**Gambar 4. 41** Grafik daya dukung ijin tanah

#### 4.11.4.2 Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok

Pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 60cm. Jarak dari as ke as antar tiang pancang direncanakan seperti pada perhitungan di bawah ini:

- Untuk jarak antar tiang pancang:

$$2 D \leq S \leq 3 D$$

$$2,5 \times 40 \leq S \leq 3 \times 40$$

$$100 \text{ cm} \leq S \leq 120 \text{ cm}$$

Digunakan jarak antar tiang = 100 cm

- Untuk jarak tiang pancang ke tepi:

$$1 D \leq S_1 \leq 2 D$$

$$1 \times 40 \leq S_1 \leq 2 \times 40$$

$$40 \text{ cm} \leq S_1 \leq 80 \text{ cm}$$

Digunakan jarak tiang ke tepi = 40 cm

Dimana :  $S$  = jarak antar tiang pancang



$S_1$  = jarak tiang pancang ke tepi

Dipakai : jarak antar tiang pancang ( $S$ ) = 100 cm

Jarak tepi tiang pancang ( $S_1$ ) = 40 cm

Pada pondasi tiang grup/kelompok, terlebih dahulu dikoreksi dengan suatu faktor yaitu faktor efisiensi, yang dirumus pada persamaan di bawah ini:

**QL (group) = QL (1 tiang) x  $\eta$  x n**

$$(\eta) = 1 - \frac{\arctan \frac{d}{s}}{90} \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{(m \times n)} \right)$$

Dimana :

$d$  = diameter tiang pancang

$s$  = jarak antar tiang pancang

$m$  = jumlah baris tiang pancang dalam 1 baris

$n$  = jumlah kolom tiang pancang

Efisiensi :

$$(\eta) = 1 - \frac{\arctan \frac{0,4}{1}}{90} \left( \frac{(2-1)3 + (3-1)2}{(3 \times 2)} \right) = 0,7174$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} Q_{ijin \text{ grup}} &= \eta \times Q_{ijin \text{ 1 tiang}} \times n \\ &= 0,7174 \times 47,37 \times 6 \\ &= 203,8963 \text{ t} > P_u = 146,537 \text{ t} \end{aligned}$$

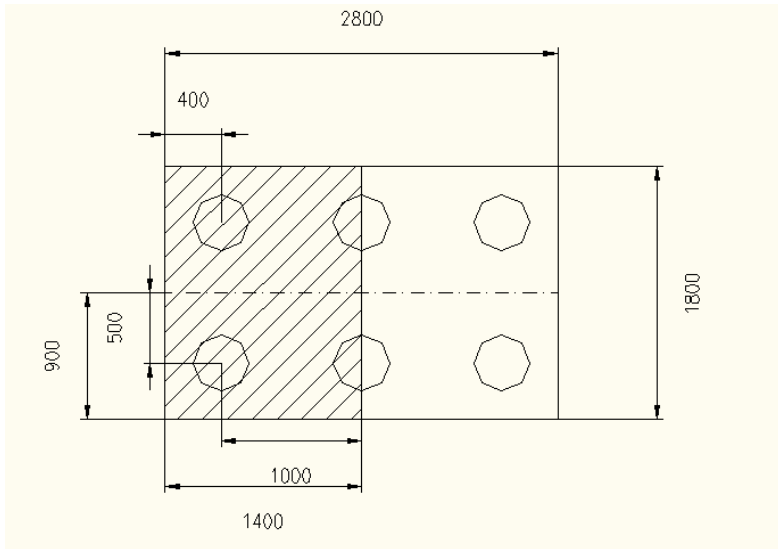
Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

$$P_u = 146,537 \text{ ton}$$

$$Q_{L \text{ (groups)}} = 2,8 \times 1,8 \times 1 \times 2,4 = 12,096 \text{ ton} +$$

$$\text{Berat total} = 158,633 \text{ ton}$$

$$Q_{L \text{ (groups)}} = 203,8963 \text{ ton} > P = 158,633 \text{ ton} \text{ .....OK!!}$$



**Gambar 4. 42** Konfigurasi rencana tiang pancang

#### 4.11.4.3 Kontrol Beban Maksimum 1 Tiang ( $P_{max}$ )

Beban maksimum yang bekerja pada satu tiang dalam tiang kelompok dihitung berdasarkan gaya aksial dan momen yang bekerja pada tiang. Momen pada tiang dapat menyebabkan gaya tekan atau tarik pada tiang, namun yang diperhitungkan hanya gaya tekan karena gaya tarik dianggap lebih kecil dari beban gravitasi struktur, sehingga berlaku persamaan:

$$P_{max} = \frac{\sum V}{n} + \frac{M_x \times y_{max}}{\sum y_i^2} + \frac{M_y \times x_{max}}{\sum x_i^2} \leq P_{ijin \text{ 1 tiang}}$$

Perhitungan Beban Aksial Maksimum Pada Pondasi Kelompok

a. Reaksi kolom	=	146537	kg
b. Berat poer = 2,8 x 1,8 x 1 x 2400	=	12096	kg +
Berat total ( $\Sigma V$ )	=	158633	kg

Momen yang bekerja:

$$\begin{aligned} M_x &= M_{ux} + (H_y \times t_{poer}) = 4182,9 + (16488,6 \times 1) \\ &= 20671,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_y = M_{uy} + (H_x \times t_{poer}) = 824,6 + (709,2 \times 1) \\ = 1533,8 \text{ kgm}$$

Sehingga didapatkan :

$$P_{max} = \frac{158633}{6} + \frac{20671,5 \times 1}{(3 \times 1^2)} + \frac{1533,8 \times 1}{(2 \times 0,5^2)} \\ = 36,4 \text{ t} < 121,1 \text{ ton}$$

#### 4.11.4.5 Kontrol Kekuatan Tiang

Sesuai dengan spesifikasi dari PT. WIKA BETON direncanakan tiang pancang beton dengan:

- *Size* : 400 mm
- *Thickness Wall* : 75 mm
- *Cross Section* : 766 cm<sup>2</sup>
- *Class* : A2
- *Bending momen crack* : 5,5 tm
- *Bending momen ultimate* : 8,25 tm
- *Allowable Compression* : 121,1 ton
- *Length of Pile* : 6 – 16 m

Tiang pancang yang direncanakan di kontrol terhadap beberapa kriteria berikut ini:

##### a. Kontrol terhadap gaya aksial

Tiang pancang yang direncanakan dengan diameter 60 cm type A1 sesuai dengan spesifikasi dari PT. WIKA BETON, gaya aksial tidak diperkenankan melebihi 121,1 ton.

$$P_{max} = 30,14 \text{ t} < P_{ijin} = 121,1 \text{ ton} \quad (\text{OK})$$

##### b. Kontrol terhadap gaya lateral

Panjang jepitan kritis tanah terhadap tiang pondasi menurut metode Philipponat dimana kedalaman minimal tanah terhadap tiang pondasi didapat dari harga terbesar dari gaya-gaya berikut :

Monolayer : 3 meter atau 6 kali diameter

Multilayer : 1,5 meter atau 3 kali diameter

Perhitungan :

Tanah bersifat multilayer

$$L_e = \text{panjang penjepitan} \\ = 3 \times 0,4 \text{ m} = 1,2 \text{ m} < 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Dipakai } L_e = 1,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_y &= L_e \times H_y \\ &= 1,5 \times 16,4886 \text{ t} \\ &= 24,7329 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_y (\text{satu tiang pancang}) = \frac{24,7329}{6} = 4,12215 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M_y &< M_{\text{bending crack}} (\text{dari Spesifikasi WIKA BETON}) \\ 4,12215 \text{ tm} &< 5,5 \text{ tm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= L_e \times H_x \\ &= 1,5 \times 0,7092 \text{ t} \\ &= 1,0638 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$M_y (\text{satu tiang pancang}) = \frac{1,0638}{6} = 0,1773 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} M_y &< M_{\text{bending crack}} (\text{dari Spesifikasi WIKA BETON}) \\ 1,0638 \text{ tm} &< 5,5 \text{ tm} \dots\dots \text{OK} \end{aligned}$$

Dari kedua perhitungan momen yang telah dilakukan maka untuk tiang pancang jenis *Prestressed Concrete Spun Piles* dengan diameter 400 mm kelas A2 memenuhi persyaratan kontrol gaya lateral terhadap *Bending moment ultimate* tiang pancang.

#### 4.11.5 Perencanaan Poer (*pile cap*)

Pada perhitungan perencanaan tulangan poer di ambil salah satu contoh tipe poer, yaitu tipe 1. Data perencanaan adalah sebagai berikut:

$\Sigma$ tiang pancang tiap group	= 6
Dimensi kolom	= $700 \times 700 \text{ mm}^2$
Dimensi pile cap	= $1,8 \times 1,8 \times 1 \text{ m}$
Mutu beton ( $f'_c$ )	= 30 MPa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 320 MPa
Diameter tulangan (D)	= 22 mm
Selimut beton	= 75 mm
Tinggi efektif : d	= $1000 - 75 - \frac{1}{2} \times 22 = 914 \text{ mm}$

$P_u \text{ kolom} = 146,537 \text{ ton}$   
 $P_u \text{ pile} = 1,5 \times P_{ijin} = 1,5 \times 47,43 \text{ t} = 71,055 \text{ ton}$   
 Diambil SF pile cap 1,5 karena diasumsikan pile cap tidak boleh gagal terlebih dahulu dibandingkan tiang pancang

#### 4.11.5.1 Kontrol Geser Pons Pada Pile Cap

Dalam merencanakan pile cap harus dipenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton ( $0,65\sqrt{f'c} = 3,56 \text{ t/m}^2$ ) yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Karena kolom pada tipe pile cap 2 tidak tertumpu pada pile maka P yang digunakan adalah P kolom yaitu 146,537 ton.

$$\frac{P}{4 \cdot h \times (h + B)}$$

Dimana :

P : Gaya aksial yang ditimbulkan oleh kolom  
 h : Tebal pile cap  
 B : Dimensi lebar kolom

Sehingga,  $\frac{146,537}{4 \times 1(1+0,7)} = 0,215495588 \text{ t/m}^2$

Didapatkan bahwa besar gaya geser pons lebih kecil dari kekuatan geser nominal beton yang berarti tidak membutuhkan penulangan geser pons.

#### 4.11.5.2 Penulangan Pile Cap

Untuk penulangan lentur, pile cap dianalisa sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom. Sedangkan beban yang bekerja adalah beban terpusat di tiang kolom yang menyebabkan reaksi pada tanah dan berat sendiri poer. Perhitungan gaya dalam pada poer didapat dengan teori mekanika statis tertentu.

$$W = 2,8 \times 1,8 \times 1 \times 2,4 = 12,096 \text{ m}^3$$

$$P_t = P_{maks} = 71,055 \text{ t}$$

**Arah x**

$$\bar{x} = 1 \text{ meter}$$

$$M_x = n P_t \times \bar{x} - W \times \frac{x^2}{2} = (3 \times 71,055 \times 1) - (12,096 \times \frac{0,9^2}{2}) = 42,143112 \text{ tm}$$

### **Arah y**

$$\bar{y} = 1 \text{ meter}$$

$$M_y = n P_t \times \bar{x} - W \times \frac{x^2}{2} = (2 \times 71,055 \times 0,5) - (12,096 \times \frac{1,4^2}{2}) = 13,025592 \text{ tm}$$

- Untuk mutu beton  $f'c = 30$  MPa berdasarkan SNI 2847:13 pasal 10.2.7.3 harga dari  $\beta_1$  adalah sebagai berikut:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(f'c - 28)}{7} \geq 0,65$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \frac{(30 - 28)}{7} \geq 0,65 = 0,836$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'c'}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ = \frac{0,85 \times 0,836 \times 30}{320} \left( \frac{600}{600 + 320} \right) \\ = 0,043432162$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f'c'}}{f_y} \\ = \frac{0,25 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428$$

$\rho_{\min}$  dipilih yang memiliki nilai terbesar, yaitu 0,0044

### **Penulangan arah x**

$$M_{ulx}^{(+)} = M_{utx}^{(-)} = 42,143112 \text{ tm} \\ = 421431120 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{421431120}{0,9 \times 1000 \times 914^2} \\ = 0,560520759$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 0,560520759}{320}} \right) \\ = 0,001771314$$

$\rho_{\min} = 0,0044 > \rho_{\text{perlu}}$  sehingga  
 $\rho_{\text{perlu}} = 0,0044$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} = 0,0044$  sehingga  
 didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d \\ = 0,0044 \times 1000 \times 914 = 3.998,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD22}} \\ = \frac{3.998,75}{379,94} = 10,52 \approx 11 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/11 = 90,91$  mm dipakai 90 mm  
 Maka digunakan tulangan lentur D22-90 mm.

Untuk tulangan tekan atas digunakan :

$$A_{s'} = 0,5 A_s \\ = 0,5 \times 3.998,75 = 1.999,38 \text{ mm}^2$$

Dengan diameterdigun tulangan tekan D16 maka akan digunakan  
 tulangan sejumlah (n)  $= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{sD16}}$

$$= \frac{3.998,75}{200,96} = 9,95 \approx 11 \text{ tulangan}$$

Sehingga didapat jarak  $S = 1000/11 = 90,91$  mm dipakai 90 mm  
 Maka digunakan tulangan lentur D16-90 mm.

### Penulangan arah y

$$M_{\text{uly}}^{(+)} = M_{\text{uty}}^{(-)} = 13,025592 \text{ tm} \\ = 130255920 \text{ Nmm}$$

$$d = 1000 - 75 - 22 - 0,5 \times 22 = 892 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{130255920}{0,9 \times 1000 \times 892^2}$$

$$= 0,191553218$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 0,191553218}{320}} \right)$$

$$= 0,000600869$$

$\rho_{\min} = 0,0044 > \rho_{\text{perlu}}$  sehingga  
 $\rho_{\text{perlu}} = 0,0044$  maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = \rho_{\min} = 0,0044$  sehingga  
 didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0044 \times 1000 \times 892 = 3.902,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD22}}$$

$$= \frac{3.902,50}{379,94} = 10,27 \approx 11 \text{ tulangan}$$

Jarak tulangan,  $S = 1000/11 = 90,91 \text{ mm}$  dipakai 90 mm  
 Maka digunakan tulangan lentur D22-90 mm.

Untuk tulangan tekan atas digunakan :

$$A_{s'} = 0,5 A_s$$

$$= 0,5 \times 3.902,50 = 1.999,38 \text{ mm}^2$$

Dengan diameter digun tulangan tekan D16 maka akan digunakan  
 tulangan sejumlah (n)  $= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD16}}$

$$= \frac{3.998,75}{200,96} = 9,71 \approx 11 \text{ tulangan}$$

Sehingga didapat jarak  $S = 1000/11 = 90,91 \text{ mm}$  dipakai 90 mm  
 Maka digunakan tulangan lentur D16-90 mm.

#### 4.11.6 Perencanaan *Tie Beam* (Balok Pengikat)

Struktur *tie beam* dalam hal ini digunakan dengan tujuan agar terjadi penurunan secara bersamaan pada pondasi atau dalam kata lain *tie beam* mempunyai fungsi sebagai pengaku yang menghubungkan antar pondasi yang satu dengan yang lainnya. *Tie beam* yang didesain untuk bekerja sebagai pengikat horisontal antara poer atau fondasi tapak harus diproporsikan sedemikian hingga dimensi penampang terkecil harus sama dengan atau lebih



besar spasi bersih antara kolom yang disambung dibagi dengan 20, tetapi tidak perlu lebih besar dari 450 mm.

### Data Perencanaan

Data-data perancangan perhitungan *tie beam* adalah sebagai berikut:

Lebar <i>Tie Beam</i>	= 400 mm
Tinggi <i>Tie Beam</i>	= 600 mm
Mutu Beton $f_c'$	= 30 MPa
Mutu Baja $f_y$	= 320 MPa
Decking	= 40 mm
Diameter Tulangan Utama	= 29 mm
Diameter Sengkang	= 10 mm
Tinggi Efektif	= $700 - 40 - 13 - (1/2 \times 25)$
	= 600,5 mm

#### 4.11.6.1 Pembebanan

Pada perancangan *tie beam* ini, penulis mengambil beban berdasarkan data tanah yang diperoleh dan beban sendiri.

$$\begin{aligned}\gamma_{sat} &= 1,668 \text{ t/m}^3 \\ \text{Cu} &= 1,9 \text{ t/m}^2 \\ \phi &= 0^\circ\end{aligned}$$

Menurut CAQUOT & KERISEL harga –harga  $N_c$ ,  $N_\gamma$ , dan  $N_q$  adalah sebagai berikut :

**Tabel 4. 26** Harga-harga  $N_c$ ,  $N_\gamma$ , dan  $N_q$

$\phi^\circ$	$N_c$	$N_\gamma$	$N_q$
0	5,14	0	1,00
5	6,50	0,10	1,60
10	8,40	0,50	2,50
15	11,00	1,40	4,00
20	14,80	3,50	6,40
25	20,70	8,10	10,70
30	30,00	18,10	18,40
35	46,00	41,10	33,30
40	75,30	100,00	64,20
45	134,00	254,00	135,00

Untuk pondasi menerus digunakan  $q_{ult}$  dalam kondisi *short term* karena umumnya pada kondisi ini beban yang ditimbulkan lebih kritis:

$$q_{ult} = \frac{1}{2} \times \gamma_{sat} \times B \times N_{\gamma} + C \times N_c + \gamma_{sat} \times D \times N_q$$

$$q_{ult} = \frac{1}{2} \times 1,668 \times 0,4 \times 0 + 1,9 \times 5,14 + 1,668 \times 0,6 \times 1$$

$$= 7,5 \text{ t/m}^2$$

Sedangkan untuk  $q_u = 0,6 \times 0,4 \times 2,4 = 0,576 \text{ t/m}$

Jadi  $q_{keseluruhan} = q_u + q_{ult}$

$$= 0,576 + (7,5 \times 0,7)$$

$$= 5,08288 \text{ t/m}$$

#### 4.11.6.2 Perhitungan Gaya Dalam

- Perhitungan Momen

$$M_{lap} = \frac{1}{24} \times q \times L^2$$

$$M_{tump} = \frac{1}{12} \times q \times L^2$$

- Perhitungan Gaya Lintang

$$D_{lap} = \frac{1}{5} \times q \times L$$

$$D_{tump} = \frac{1}{2} \times q \times L$$

**Tabel 4. 27** Rekap Gaya Dalam *Tie Beam*

Sloof	L	q	D		Momen	
			Lap	Tum	Lap	Tum
S1	7	5,46952	7,657328	19,14332	11,167	3,2
S2	3	5,46952	3,281712	8,20428	2,05	1,37
S3	4,5	5,46952	4,922568	12,30642	4,615	2,05
S4	7,2	5,46952	7,8761088	19,690272	11,814	3,28
S5	3,2	5,46952	3,5004928	8,751232	2,334	1,46

S6	9	5,46952	9,845136	24,61284	18,46	4,1
----	---	---------	----------	----------	-------	-----

### Penulangan Tie Beam

Dalam subbab ini yang ditinjau adalah titik S1 dengan panjang 7 meter.

### Penulangan Lentur

- Data Perencanaan
  - Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa
  - Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa
  - Dimensi balok = 20/60 cm
  - Diameter tulangan utama = 29 mm
  - Diameter tulangan sengkang = 10 mm

$$d = h - d' - \emptyset - \frac{1}{2} d_b$$

$$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (29) = 535,5 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,004375$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,5 \times \sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{0,5 \times \sqrt{30}}{320} = 0,00428$$

Digunakan  $\rho_{\min}$  terbesar antara 2 perhitungan  $\rho_{\min}$  di atas,

$$\rho_{\min} = 0,004375$$

$$\rho_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2013, pasal 21.5.2.1)}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{320}{0,85 \times 30} = 12,55$$

### • Tulangan Tumpuan

$$M_{\text{tump}} = 3,190553333 \text{ kgm} = 31905533,33 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{31905533,33}{0,9 \times 400 \times 535,5^2} = 1,545306253$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 1,545306253}{320}} \right) = 0,004985005$$

$$\rho_{\min} = 0,004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0,004985005$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,004985005$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d \\ = 0,004985005 \times 400 \times 535,5 = 1334,735184 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD29}} \\ = \frac{1334,735184}{660,52} = 2,020734385 \approx 3 \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D29} \\ = 3 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ = 1981,559566 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{ OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 3D29

Untuk tulangan tekan diambil

$$0,5 \times A_s \text{ pasang} = 0,5 \times 1984,701159 \\ = 992,3505795 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan tekan sebanyak 2D19 ( $A_s = 1321,04 \text{ mm}^2$ )

#### • Tulangan Lapangan

$$M_{\text{lapangan}} = 11,16693667 \text{ tm} = 111669366,7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d \times x^2} = \frac{111669366,7}{0,9 \times 400 \times 535,5^2} = 5,408571885$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{fy}} \right) \\ = \frac{1}{12,5} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 12,5 \times 5,408571885}{320}} \right) = 0,019219531$$

$$\rho_{\text{min}} = 0,004375 < \rho_{\text{perlu}} = 0,019219531$$

maka dipakai  $\rho_{\text{pakai}} = 0,019219531$  sehingga didapatkan tulangan perlu sebesar:

$$A_{s\text{perlu}} = \rho \times b \times d \\ = 0,019219531 \times 400 \times 535,5 = 4116,823442 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan, } n = \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{sD29}} \\ = \frac{4116,823442}{660,52} = 6,232702027 \approx 7 \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ pasang} = \text{jumlah tulangan} \times A_{D29} \\ = 7 \times 660,52 \text{ mm}^2 \\ = 4623,638988 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} \dots\dots \text{ OK}$$

Maka digunakan tulangan lentur 7D29

Untuk tulangan tekan diambil

$$\begin{aligned} 0,5 \times A_s \text{ pasang} &= 0,5 \times 4623,638988 \\ &= 2311,819494 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan tekan sebanyak 4D19 ( $A_s = 2642,08 \text{ mm}^2$ )

### • Perhitungan Tulangan Geser

#### Tumpuan

$$V_u = 19,14332 \text{ t} = 191,4332 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ V_c &= \frac{1}{6} x \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \\ &= \frac{1}{6} x \sqrt{30} \times 400 \times 535,5 \\ &= 195,54 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,6 \times 195,54 \\ &= 117,32 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi 0,5V_c &= 0,5 \times 117,32 \\ &= 58,661 \text{ KN} \end{aligned}$$

Karena  $V_u > V_c > 0,5\phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

$$\begin{aligned} V_{s \min} &= \frac{V_u}{\phi} \\ V_{s \min} &= \frac{191,4332}{0,75} = 255,244 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 100 = 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{A_v x f_y x d}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 320 \times 535,5}{255,244} \end{aligned}$$

$$=105,4 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:13 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih  $d/2$  sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2 \\ \leq 535,5/2 = 250,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis Ø10-110 mm

### Lapangan

$$V_u = 7,657328 \text{ t} = 76,57328 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'c} x b_w x d \\ V_c = \frac{1}{6} x \sqrt{f'c} x b_w x d \\ = \frac{1}{6} x \sqrt{30} x 400 x 535,5 \\ = 195,54 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,6 x 195,54 \\ = 117,32 \text{ KN}$$

$$\phi 0,5V_c = 0,5 x 117,32 \\ = 58,661 \text{ KN}$$

Karena  $V_u > V_c > 0,5\phi V_c$  maka tulangan geser diperlukan.

$$V_{s \min} = \frac{V_u}{\phi} \\ V_{s \min} = \frac{76,57328}{0,75} = 102,1 \text{ KN}$$

$$A_v = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ = 2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 100 = 157 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak sengkang, dimana:

$$s_{\max} = \frac{A_v x f_y x d}{V_s} \\ = \frac{157,08 x 320 x 535,5}{102,1}$$

$$=263,5 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:13 pasal 21.5.3.4 bahwa jarak maksimum antar sengkang yang tidak memerlukan sengkang tertutup tidak lebih  $d/2$  sepanjang komponen struktur, maka:

$$s \leq d/2$$

$$\leq 535,5/2 = 250,25 \text{ mm}$$

Maka, dipakai sengkang di luar sendi plastis  $\emptyset 10\text{-}250 \text{ mm}$

## **4.12 Metode Pelaksanaan**

### **4.12.1 Umum**

Dalam setiap pekerjaan konstruksi, metode pelaksanaan merupakan item penting yang tidak bisa dipisahkan. Apalagi menyangkut struktur beton pracetak. Untuk merencanakan beton pracetak, terlebih dahulu harus diketahui apakah struktur tersebut bisa dilaksanakan. Tahap pelaksanaan ini akan diuraikan mengenai item-item pekerjaan konstruksi dan pembahasan mengenai pelaksanaan yang berkaitan dengan penggunaan material-material beton pracetak. Proses pekerjaan yang dilakukan di proyek ini adalah ;

Proses pencetakan secara pabrikasi di Industri pracetak. Hal – hal yang perlu dipertimbangkan dengan proses pabrikasi adalah:

- a. Perlunya standart khusus sehingga hasil paracetak dapat diaplikasikan secara umum di pasaran
- b. Terbatasnya fleksibilitas ukuran yang disediakan untuk elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti elemen pracetak yang disebabkan karena harus mengikuti kaidah sistem dimensi satuan yang disepakati bersama dalam bentuk kelipatan suatu modul.
- c. Dengan cara ini dimungkinkan untuk mencari produk yang terbaik dari lain pabrik.

### **4.12.2 Pengangkatan dan Penempatan Crane**

Hal – hal yang perlu diperhatikan dalam pengangkatan elemen pracetak antara lain:

1. kemampuan maksimum crane yang digunakan

2. metode pengangkatan
3. letak titik – titik angkat pada elemen pracetak

Hal – hal tentang pengangkatan dan penentuan titik angkat telah dibahas pada bab – bab sebelumnya. Dalam perencanaan ini memakai peralatan tower crane untuk mengangkat elemen pracetak di lapangan. Untuk pemilihan tower crane harus disesuaikan antara kemampuan angkat crane dengan berat elemen pracetak.

- Jenis crane POTAIN MR 160 C
- Jarak jangkauan maksimum 60 m dengan beban maksimum 7,5 ton
- Tower crane yang digunakan 1 buah

#### 4.12.2.1 Kontrol Kapasitas Crane

Elemen struktur pracetak

1. Balok induk 50/70 (terpanjang 9,0 m)

$$W = 0,50 \times (0,70 - 0,12) \times 9,0 \times 2,4 = 5,973 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok induk pracetak dengan beban 5,973 ton dengan beban maksimum 7,5 ton dengan jarak jangkauan maksimum 60 m.

2. Balok anak 30/50 (terpanjang 9,0 m)

$$W = 0,30 \times (0,5 - 0,12) \times 9,0 \times 2,4 = 2,2806 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat balok anak pracetak dengan beban 2,2806 ton dengan beban maksimum 7,5 ton dengan jarak jangkauan maksimum 60 m.

3. Pelat

$$\text{Ukuran Pelat } 1,5 \times 3,5 \text{ m (t = 5,5 cm)}$$

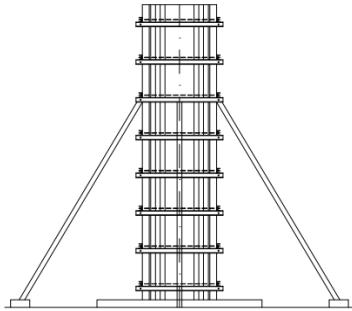
$$W = 1,5 \times 3,5 \times 0,055 \times 2,4 = 6,25536 \text{ ton}$$

Kapasitas crane mampu mengangkat pelat pracetak dengan beban 6,25536 ton dengan beban maksimum 7,5 ton dengan jarak jangkauan maksimum 40 m.



#### 4.12.3 Pekerjaan Elemen Kolom

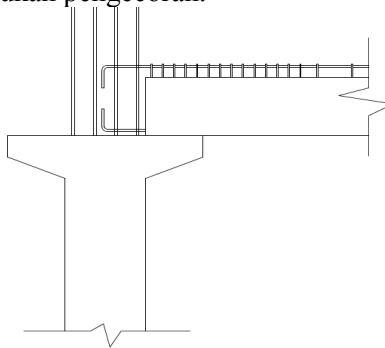
Setelah dilakukan pemancangan, pembuatan pile cap dan sloof, maka tulangan kolom dipasang bersamaan dengan pendimensian pile cap. Tulangan kolom bersamaan dengan tulangan konsol yang telah disiapkan dicor sampai batas yang sudah ditentukan. Dalam hal ini sampai ketinggian permukaan bawah balok induk yang menumpang pada kolom.



**Gambar 4. 43** Pemasangan Bekisting untuk Pembuatan Kolom

#### 4.12.4 Pemasangan Elemen Balok Induk

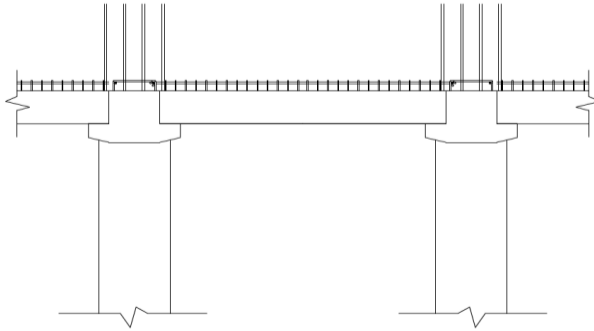
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu di atas konsol kolom kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Lalu setelah itu baru dilakukan pengecoran.



**Gambar 4. 44** Pemasangan Balok Induk Pracetak

#### 4.12.5 Pemasangan Elemen Balok Anak

Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak yang terdapat pada balok induk.

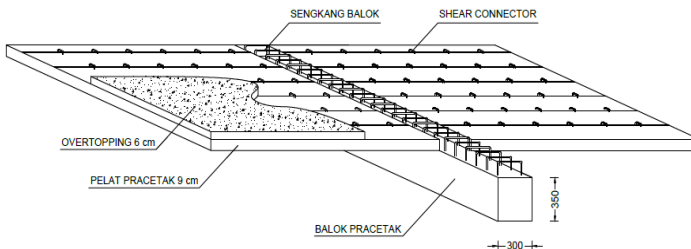


**Gambar 4. 45** Pemasangan Balok Anak Pracetak

Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan pelat dan kemudian dilakukan pengecoran *overtopping*.

#### 4.12.6 Pemasangan Elemen Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan pemasangan tulangan bagian atas yaitu tulangan tumpuan untuk pelat.



**Gambar 4. 46** Tulangan Atas Pelat

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 6,5 cm.

Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

#### **4.12.7 Transportasi Elemen Beton Pracetak**

Sistem transportasi disini meliputi:

1. Pemindahan beton pracetak di areal pabrik
2. Pemindahan dari pabrik ke tempat penampungan di proyek
3. Pemindahan dari penampungan sementara di proyek ke posisi akhir

Tahap pemindahan komponen beton pracetak dari lokasi pabrikasi ke areal proyek diperlukan sarana angkut seperti truk tunggal, tandem, atau temple. Truk yang biasa digunakan untuk pengangkutan berukuran lebar 2,4 m x 16 m atau 2,4 m x 18 m dengan kapasitas angkut kurang lebih 50 ton. Untuk komponen tertentu dimana panjangnya cukup panjang hingga 30 m dapat dipergunakan truk temel dimana kapasitasnya dapat mencapai 80 ton. Di area lokasi proyek diperlukan sarana untuk pemindahan komponen beton pracetak mempergunakan tower crane dan area penyimpanan (*storage*) untuk menyimpan elemen pracetak sebelum dilaksanakan pemasangan (*erection*)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Perencanaan Modifikasi Gedung Stikes RS Anwar Medika dengan Metode Beton Pracetak dan Sistem Ganda” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam Dimensi struktur utama didapatkan dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a) dan dimensi kolom yang didapat dari perhitungan sebesar 70/70 cm. Dimensi struktur sekunder didapatkan dari SNI 2847:2013 pasal 9.5.2. Yang meliputi ketentuan tebal minimum balok non prategang dapat disesuaikan pada table 9.5(a). Sedangkan untuk dimensi pelat digunakan SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.2 dengan melihat tabel 9.5(c). adapun hasil modifikasi sebagai berikut :

#### **Struktur Atas**

##### **Struktur Sekunder**

- Dimensi balok anak = 30/50 cm
- Dimensi balok bordes = 20/30 cm
- Dimensi pengantung lift = 30/40 cm
- Dimensi penumpu lift = 40/50 cm
- Tebal pelat = 12 cm

##### **Struktur Primer**

- Dimensi balok induk = 50/70 cm
- Dimensi kolom = 70x70 cm
- Tebal shear wall 1 = 20 cm
- Tebal shear wall 2 = 30 cm

#### **Struktur bawah**

- Balok Tie Beam = 40/60 cm

- Pondasi = Spun Pile D40, H = 24 m
  - Pile Cap
    - Tipe 1 = 1,8 m x 0,8 m x 1 m
    - Tipe 2 = 1,8 m x 1,8 m x 1 m
    - Tipe 3 = 2,8 m x 1,8 m x 1 m
    - Tipe 4 = 3,8 m x 1,8 m x 1 m
2. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol pendek kolom adalah 500x400 mm dan konsol pendek balok induk 200x300.
  3. Detailing sambungan pracetak dirancang bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan shear connector yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

## 5.2 Saran

Bedasarkan analisa selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah diantaranya :

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan sambungan antar elemen beton pracetak karena sambungan beton pracetak tentu tidak semonolit seperti pada sambungan dengan cor setempat agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan
2. Sambungan tipe elemen pracetak sedapat mungkin dibuat seminal mungkin untuk lebih menyeragamkan bentuk cetakan dan detail tulangan tulangan sehingga tujuan dari konstruksi dengan metode pracetak dapat terlaksana

3. Masih perlu lagi pengembangan teknologi Pracetak agar lebih efisien lagi dalam penggunaannya, serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.
4. Diperlukan penelitian lebih lanjut perihal pengembangan teknologi pracetak agar lebih efisien dalam penggunaannya, sehingga para pelaku dunia konstruksi lebih mudah dalam mengaplikasikan metode beton pracetak.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. 2010 . **Balok Pelat Beton Bertulang** . Yogyakarta : Graha Ilmu
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. **SNI 2847:-2013 Tata cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. **SNI 1727:2012 Tata Cara Perhitungan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung**. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. **Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung ( PPIUG )**. Jakarta, Indonesia
- Departemen Pekerjaan Umum. 1971. **Peraturan Beton Bertulang Indonesia ( PBBI )**. Jakarta, Indonesia
- Imran, Iswandi. 2014 . **Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang** . Bandung : ITB
- PCI. Fourth Edition. **PCI Design Handbook Precast and Prestressed Concrete**. Chicago : PCI Industry Handbook Committee
- Wahyudi, Herman. 1999 . **Daya Dukung Pondasi Dangkal** . Surabaya : ITS

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **LAMPIRAN**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Form AK/TA-04  
rev01

PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS  
LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)  
Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111  
Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Dr. techn. Pyo Aji, ST, MT.
NAMA MAHASISWA	: Dimandita Dand V.
NRP	: 3113100059.
JUDUL TUGAS AKHIR	: PERENCANAAN MODIFIKASI GEDUNG STIKES RS ANWAR MEDIKA DENGAN METODE PRACETAF DAN SISTEM GANDA.
TANGGAL PROPOSAL	: 9 FEBRUARI 2017
NO.SP-MMTA	: 013080 / IT2.V1.4.1 / PP.05.02.00 / 2017.

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	22/03/17	Preliminary Design.		b
2	12/04/17	Perencanaan Pelat.		b
3	20/04/17	Perencanaan Balok Anat.		b
4	21/04/17	Perencanaan Tangga & Lift.		b
5	03/05/17	Perencanaan Permodelan Struktur		b
6	22/05/17	Perencanaan Balok Induk.		b
7	23/05/17	Perencanaan Kolom		b
8	02/06/17	Perencanaan Shearwall.		b
9	07/06/17	Pondasi Metode Pekerjaan		b

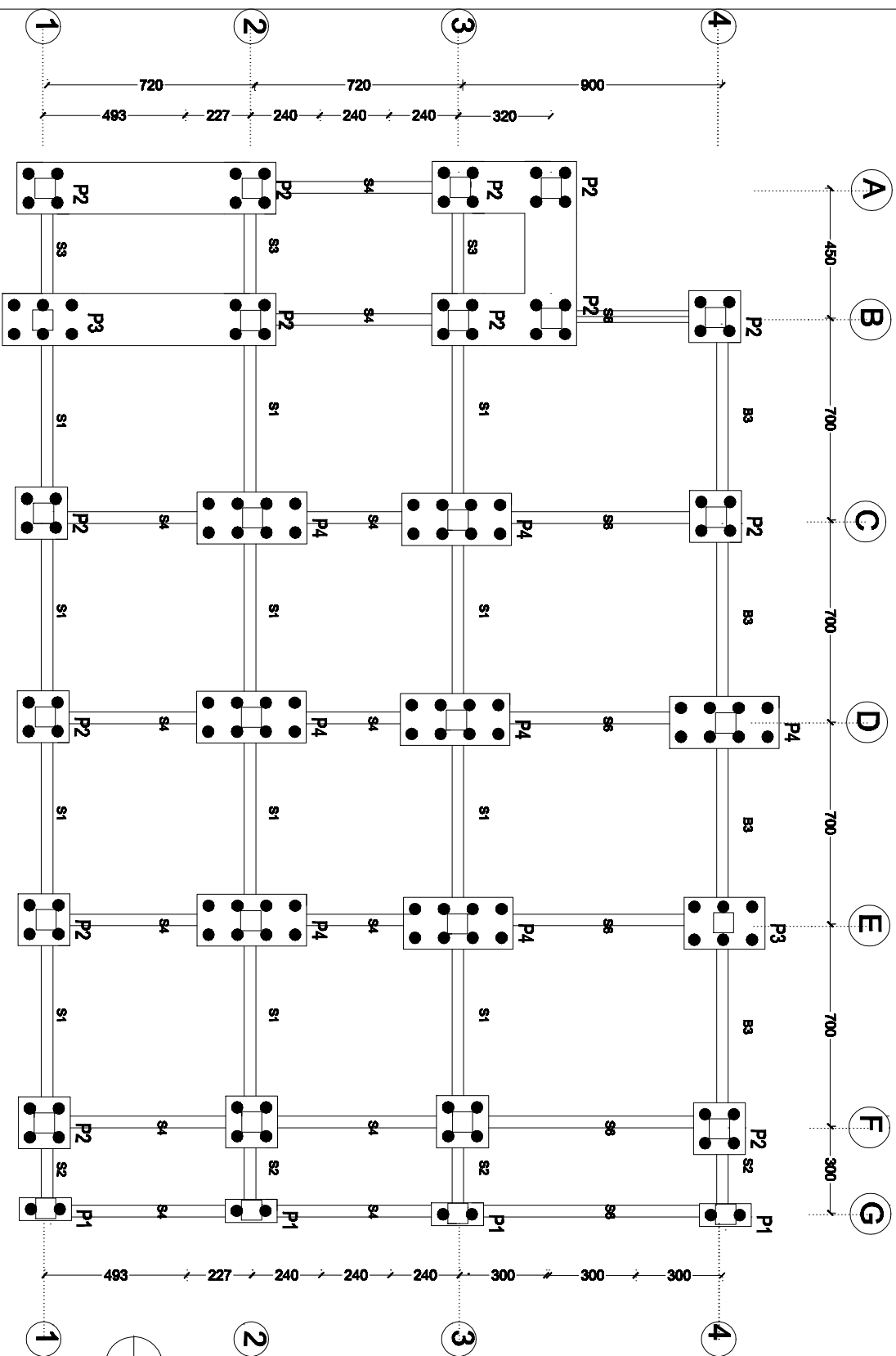
## BIODATA PENULIS



### **Primandika David Villasco**

lahir di Madiun pada tanggal 03 Mei 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Supriyadi dan Muhartatik.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Muneng (2001-2007), SMP Negeri 1 Pilangkenceng (2007-2010), dan SMA Negeri 1 Mejayan (2010-2013). Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya angkatan 2013 dan terdaftar dengan NRP 3113100059. Beberapa organisasi yang pernah ditekuni penulis yaitu Ketua Biro Penerus dan Pejuang Tradisi UKM Cinta Rebana ITS (2014-2015), Ketua Pergurus Seni Bela Diri Pagar Nusa (2013-2014). Bagi penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya merupakan suatu kesempatan yang tidak akan datang untuk kedua kalinya, sekaligus merupakan suatu kebanggaan. Penulis dapat dihubungi melalui email [coco\\_david95@yahoo.com](mailto:coco_david95@yahoo.com)



DENAH PONDASI  
SKALA 1:100

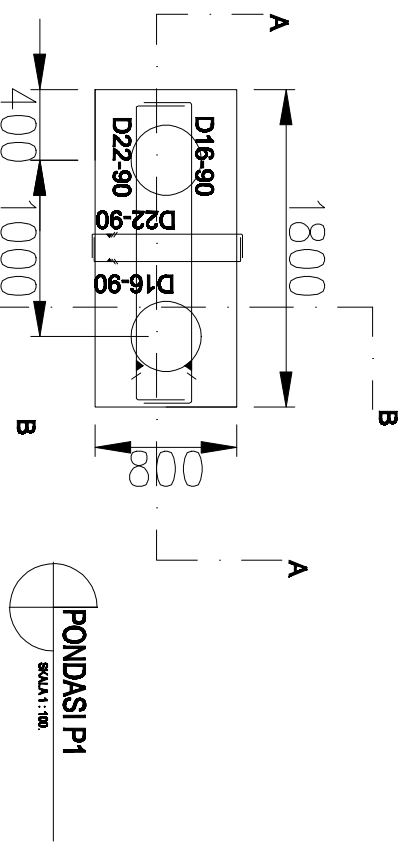
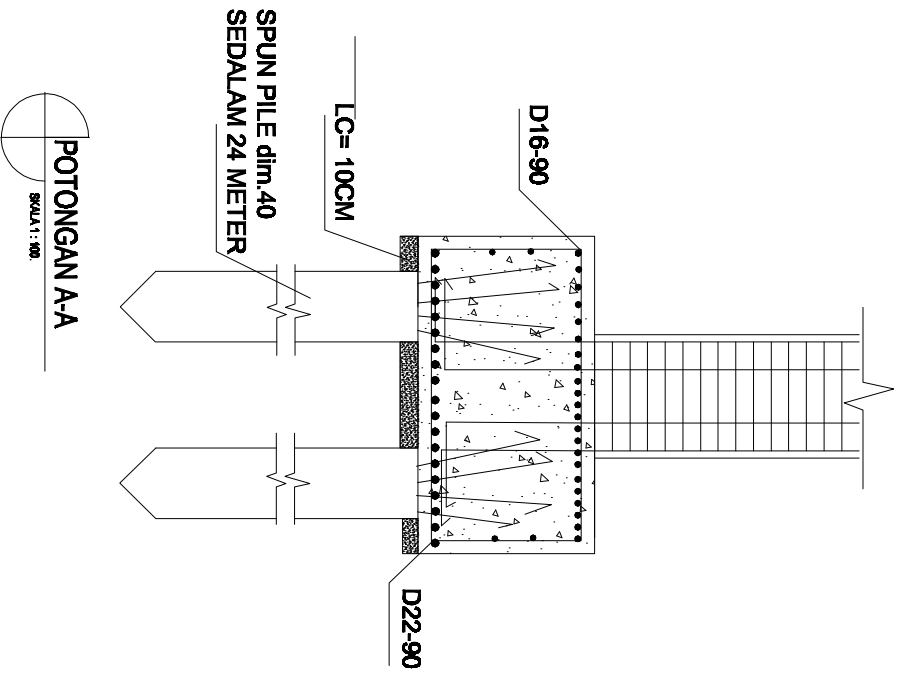
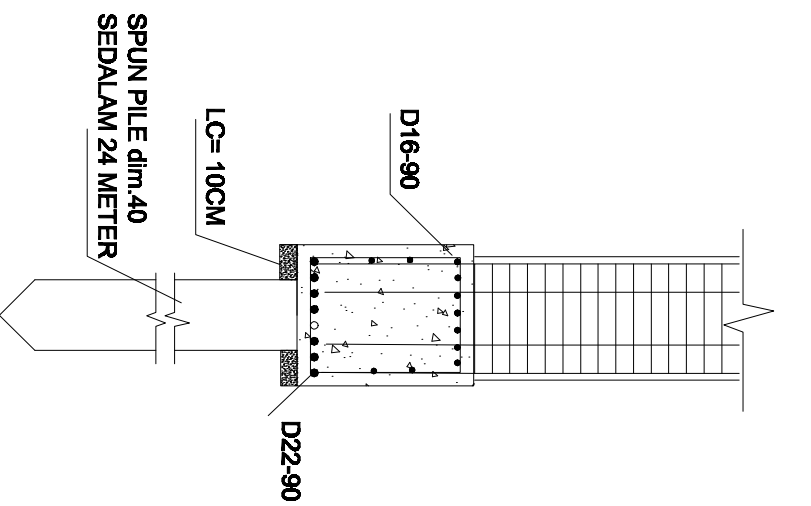
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIMAINDRA DAVID VILLASCO  
NIM 3113.100.009

DOSIR KONSULTASI :  
Dr. Ir. H. P. P. M. A. T. J. A. T.

AJUL GUSAR :  
DENAH PONDASI

NO. URUTAN	TGL.	REVISI	AL. KIRIM
001	11/10/20	1	24



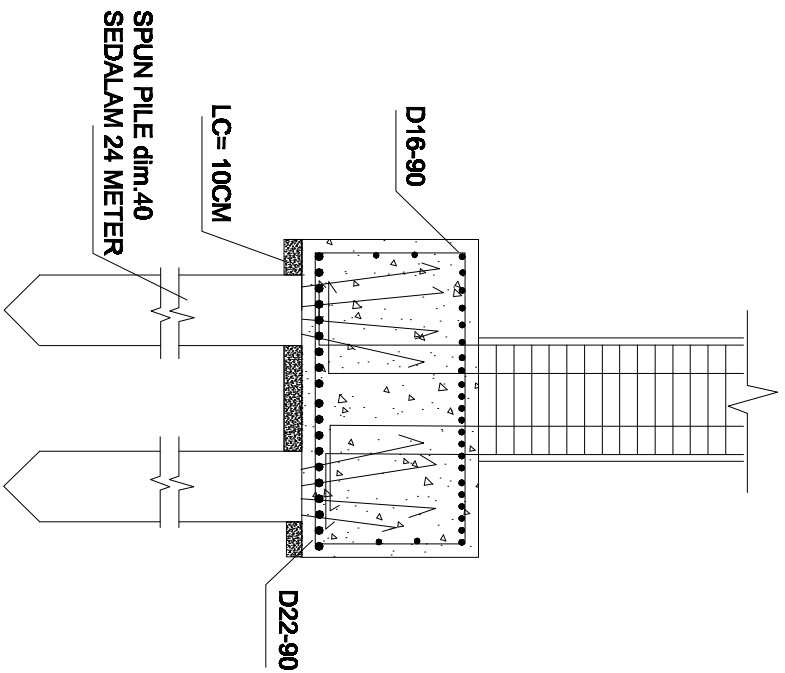
# Institut Teknologi Sepuluh Nopember ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

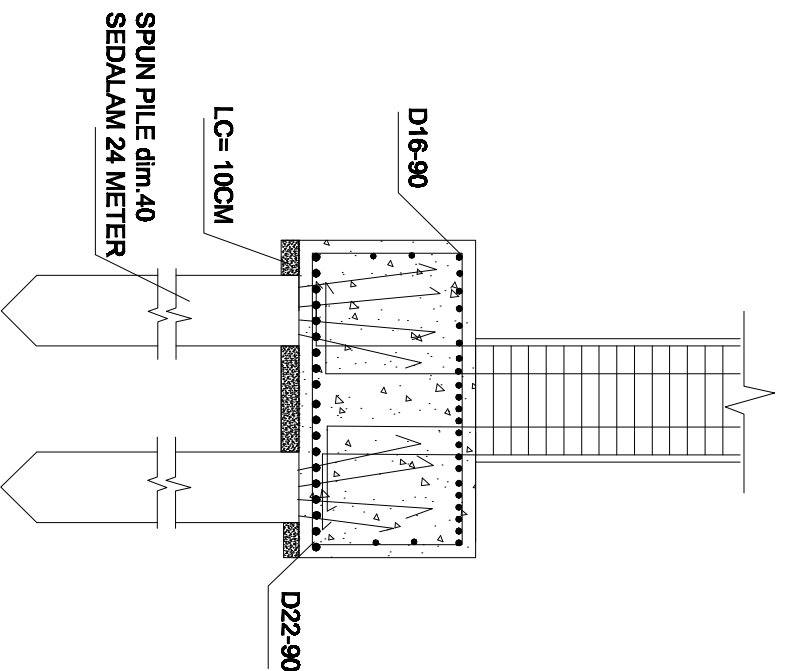
DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.Iechtn.Priyo Aji,ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :		NOOR GHAZALI	SKALA	HALAMAN	Jumlah
PILE CAP		STR	1 : 100	2	24

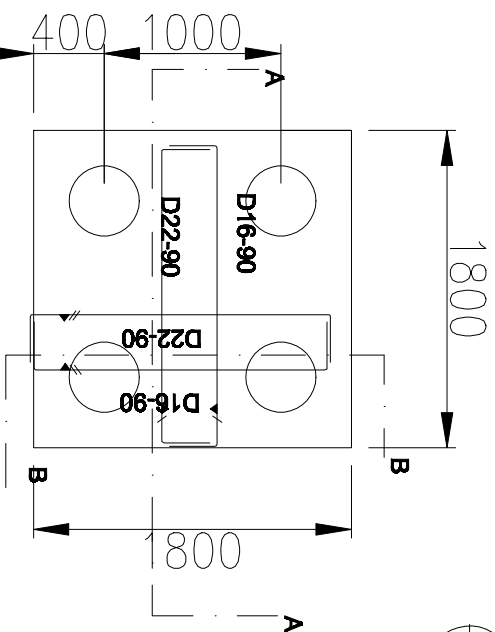




**POTONGAN B-B**  
SKALA 1 : 100



**POTONGAN A-A**  
SKALA 1 : 100



**PONDASI P2**  
SKALA 1 : 100

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya**

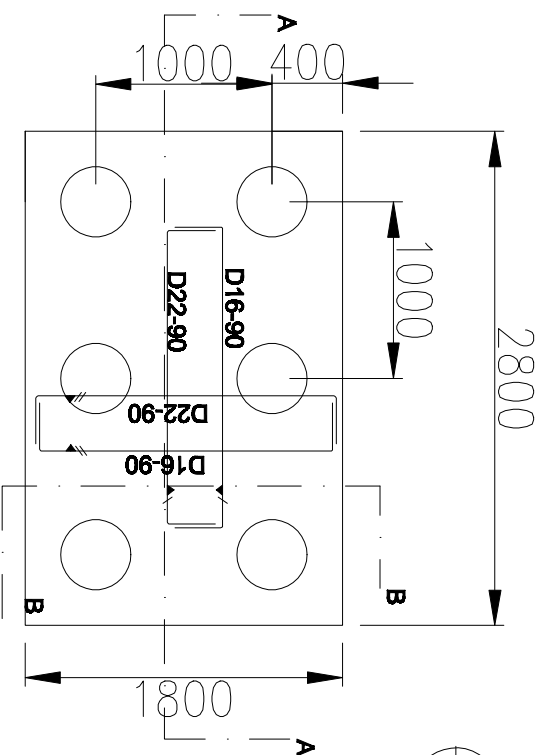
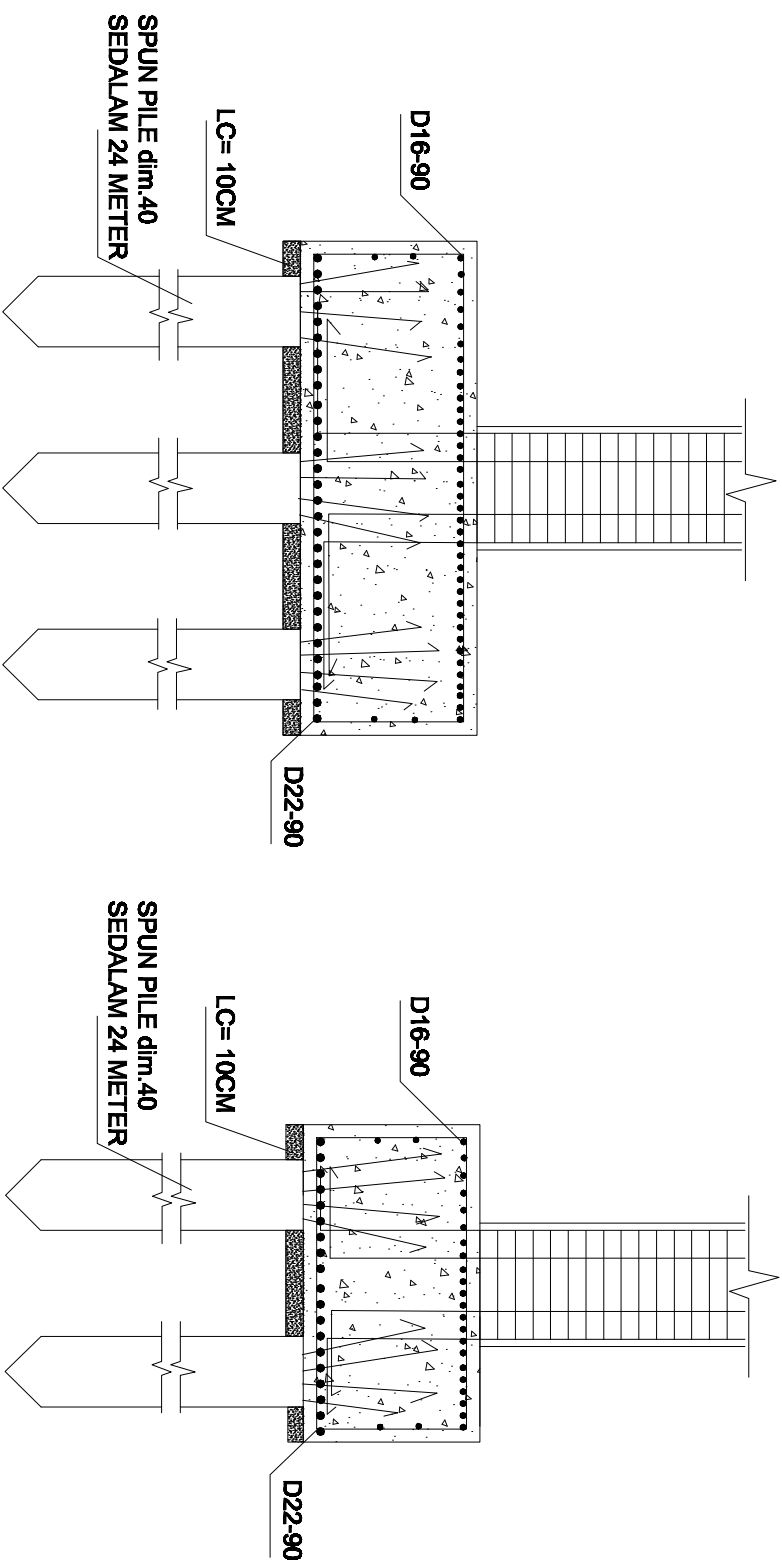
**NAMA MAHASISWA :  
PRILIANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.059**

**DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pujo Aji ST.,MT.**

**JUDUL GAMBAR :  
PILE CAP**

**KODE GAMBAR** **SKALA** **REVISI** **JALAN**

**STR** **1 : 100** **3** **24**



Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

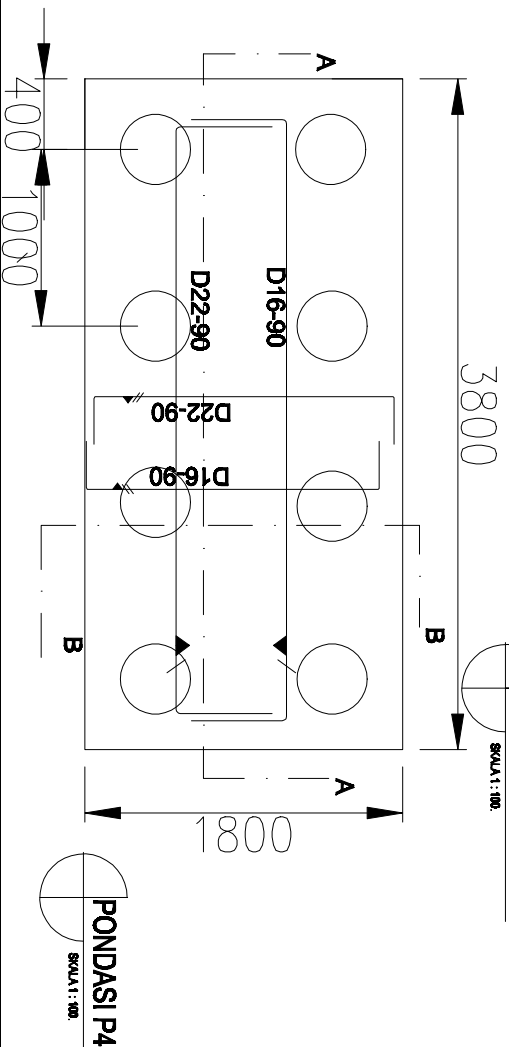
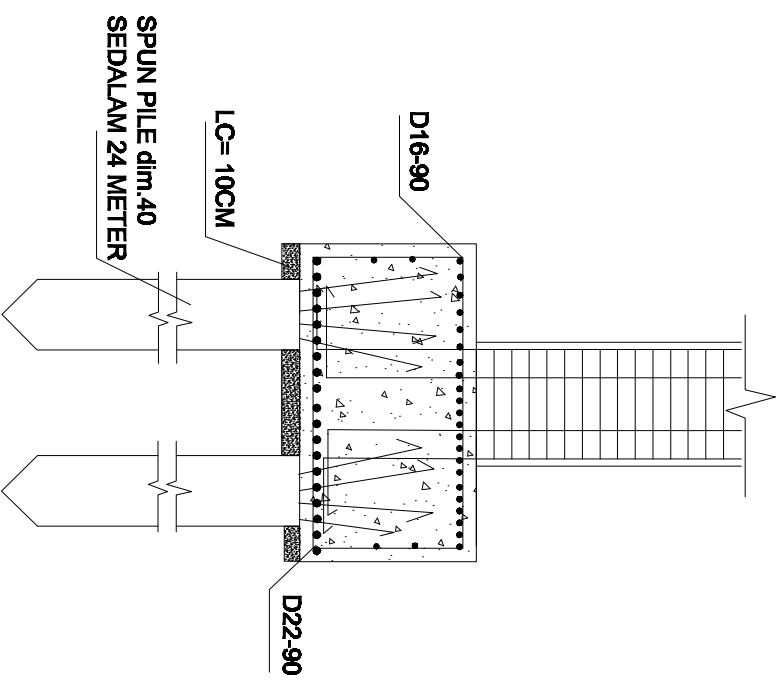
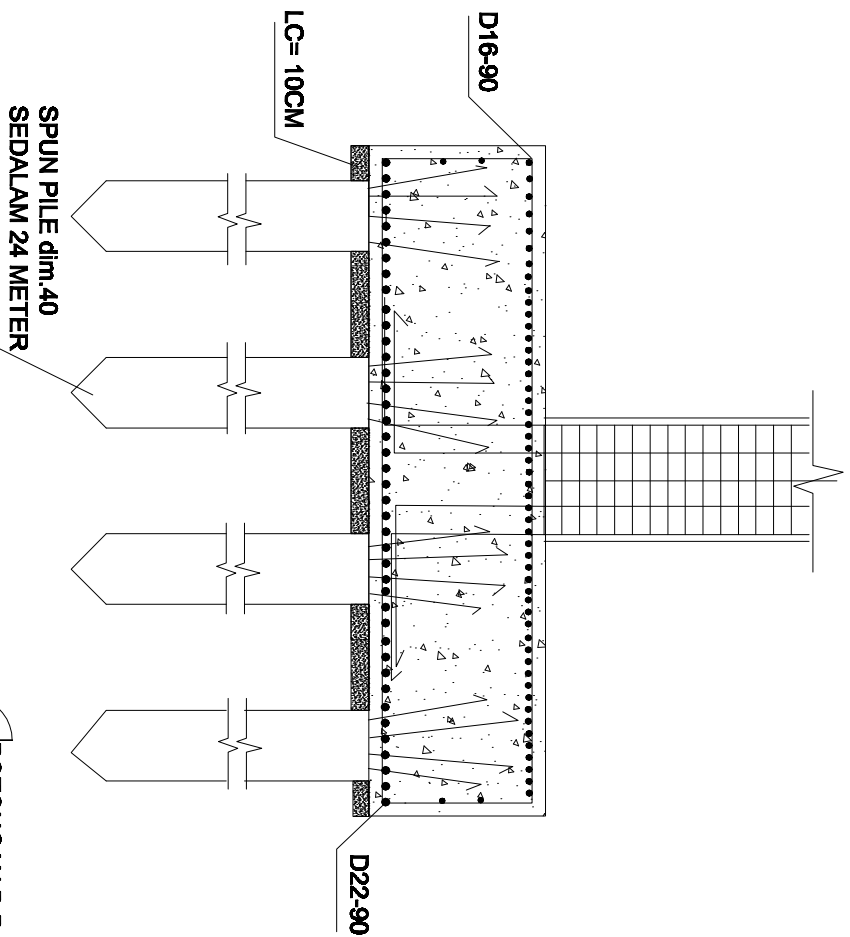
NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr. Iechin Pujo Ajij ST., MT.

JUDUL GAMBAR :  
PILE CAP

NOMOR GAMBAR : SKALA : HASIL BAKAR

STR 1 : 100 4 24

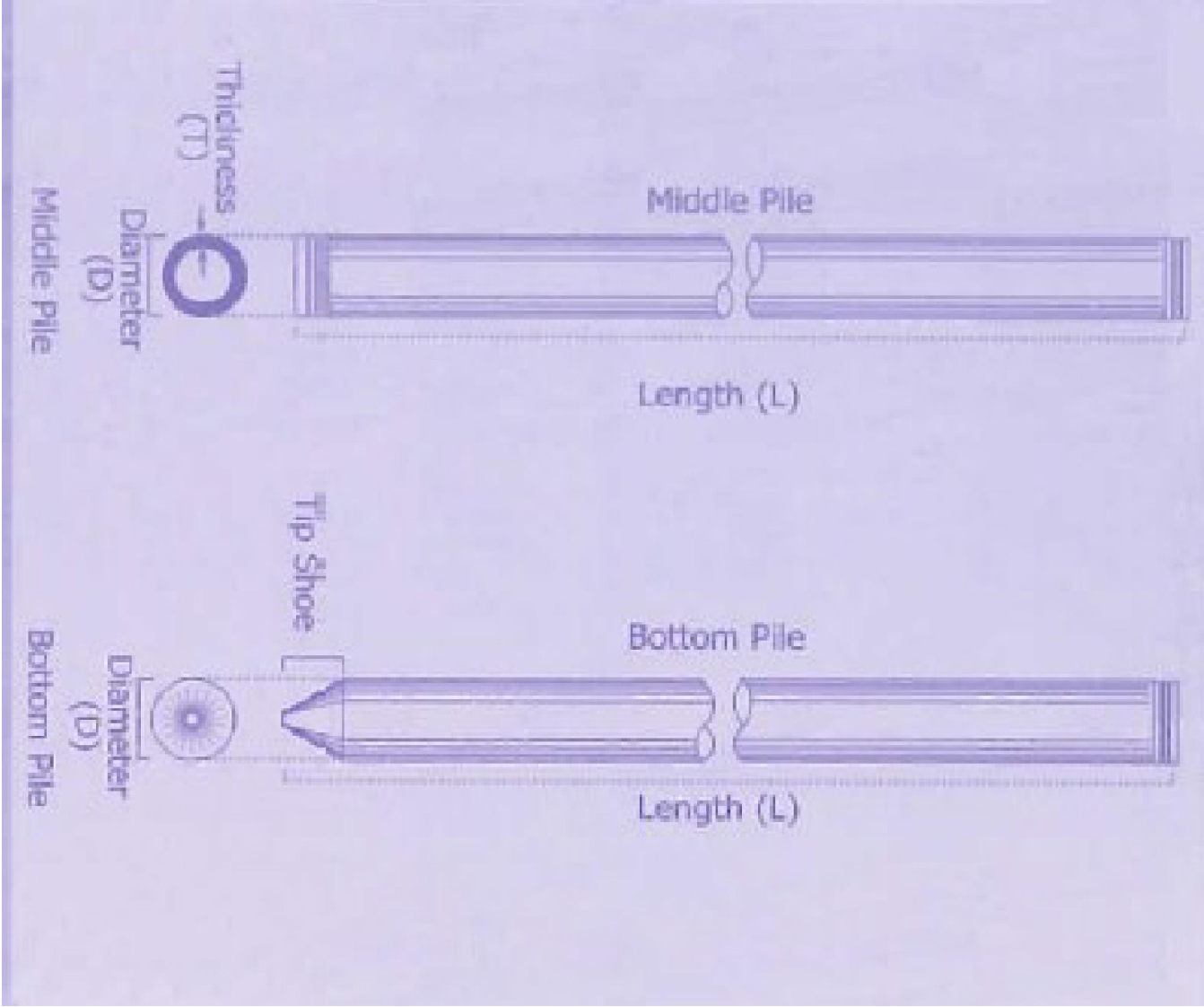


Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pujo Ajij ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :		NOOR GUSMAN	SKALA	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR
PILE CAP		STR	1 : 100	5	24

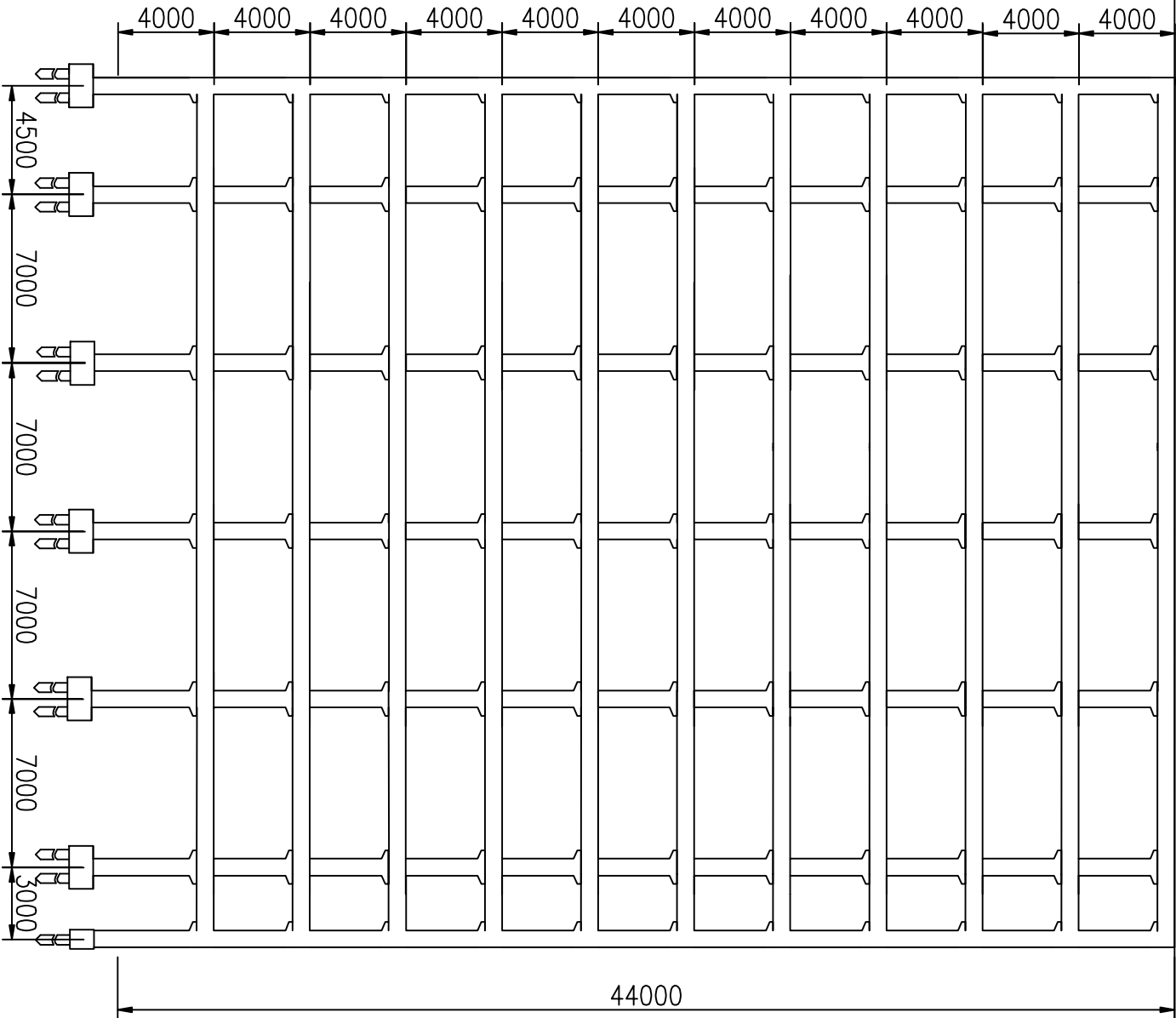


Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIMA DIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113 100 089

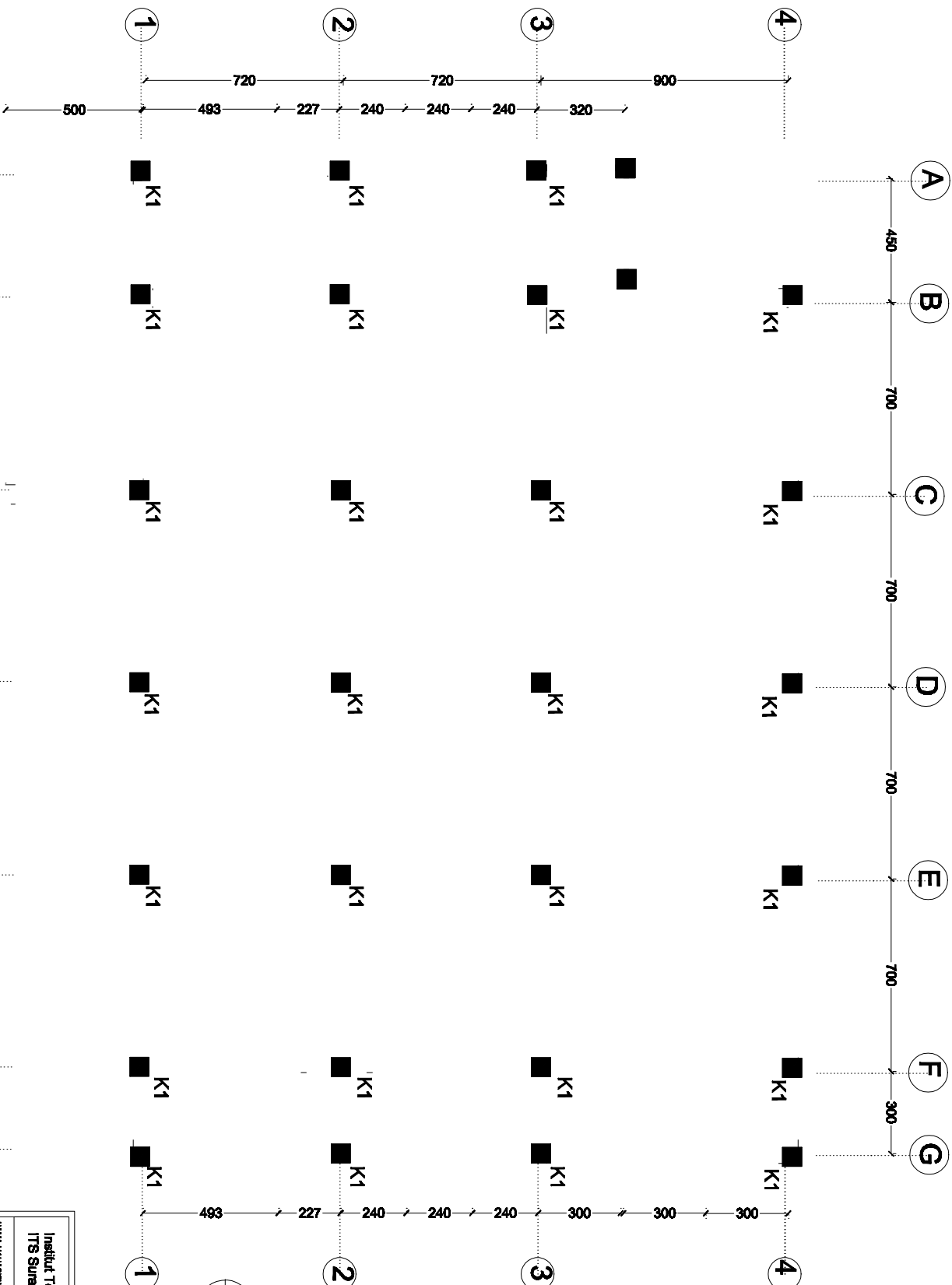
DOSSEN KONSULTASI :  
Dr.techn.Pujo A.ST.,MT.

JUDUL GAMBAR : TANG PANCANG	KODE GAMBAR			
	STR	1 : E	6	24



 **POTONGAN 1-1**  
SKALA 1 : 100.

Institut Teknologi Sepuluh Nopember ITS Surabaya				
NAMA MAHASISWA : PRABANDIKA DAVID VILLASCO NIM 31121001089				
DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir. H. P. P. A. ST. J. M. T.				
JUDUL GAMBAR : POTONGAN MENYANGUNG	NAMA DOSEN	SKALA	WAKTU	HALAMAN
	STR	1 : 100	7	24



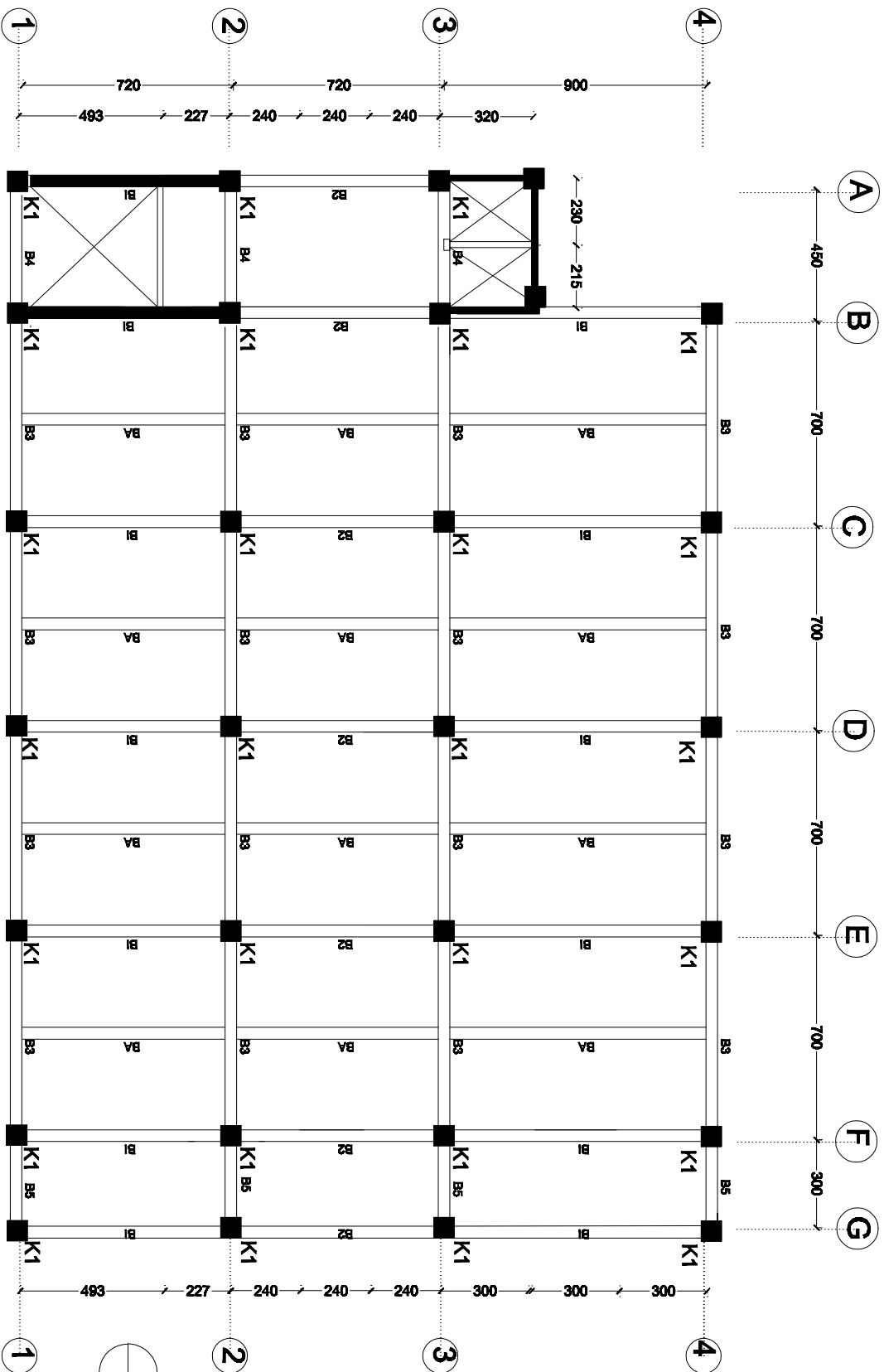
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIMAINDRA DAVID VILLASCO  
NIM 3113.100.108

Dosen KONSEL JAR :  
Dr. Hana Puspita M. ST. MT.

ADOLE GABAR :  
DESAIN KOLOM

NO. KIRI	NO. KIRI	NO. KIRI	NO. KIRI
878	1 : 100	8	24



DENAH PEMBALOKAN  
SKALA: 1:100

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

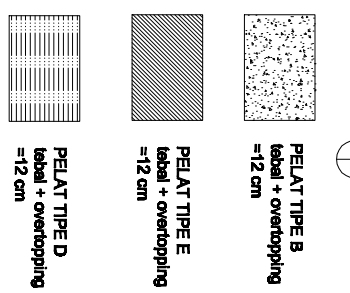
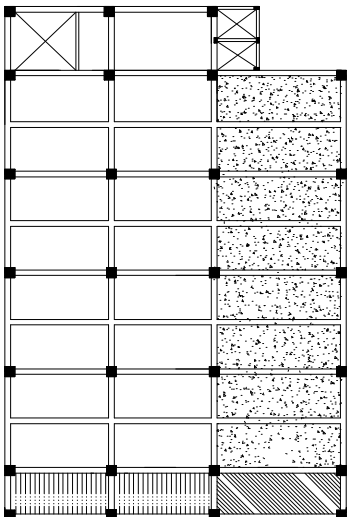
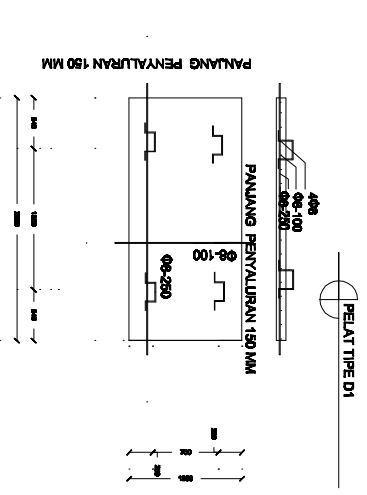
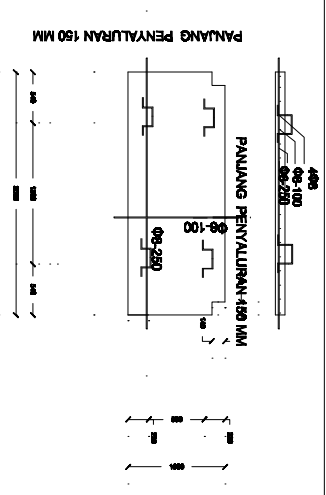
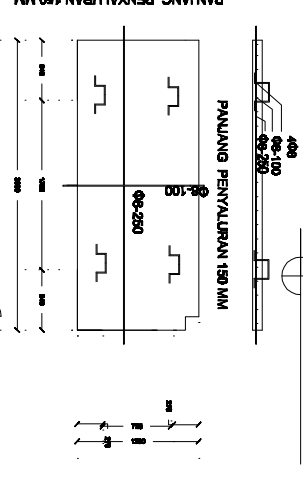
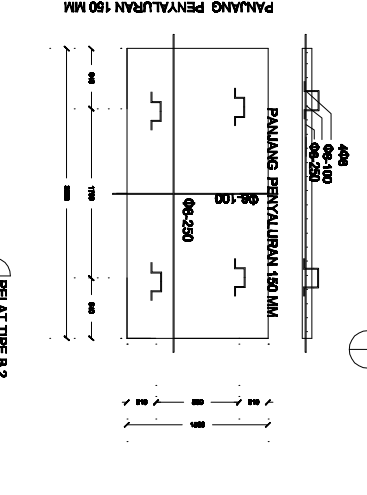
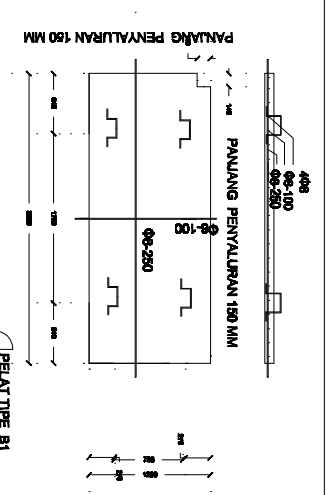
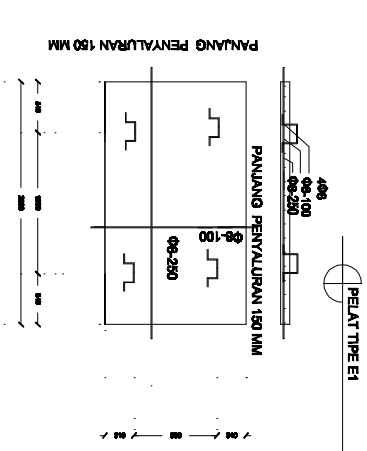
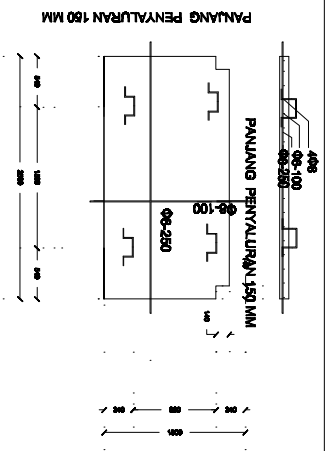
NAMA MAHASISWA :  
PRIMAADKA DAVID VILLASCO

NIM : 3113.100.008

Dosen KONSELITASI :  
Dr. Ir. H. P. P. M. A. T. J. A. T.

JUDUL GAMBAR :  
DENAH BALOK L2 04/11

NO. GAMBAR	SKALA	REVISI	ALAMAT
01	1:100	0	24



# Institut Teknologi Sepuluh Nopember ITS Surabaya

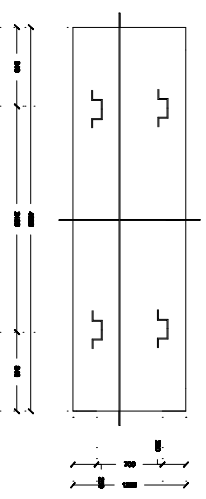
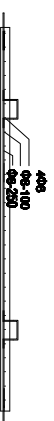
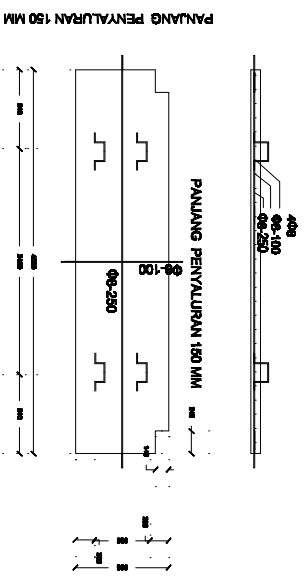
NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pujo Aj,ST.,MT.

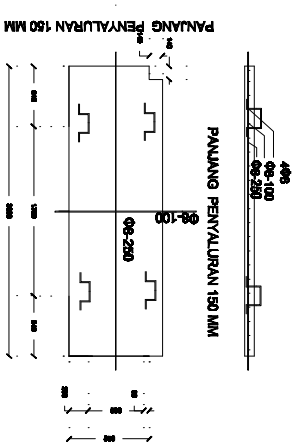
JUDUL GAMBAR :  
Tipe PELAT

NOOR GAMBAR	SKALA	REVISI	DATE
STR	1 : 100	10	24

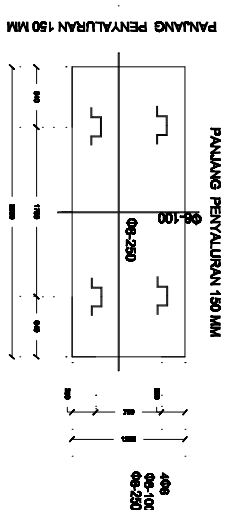




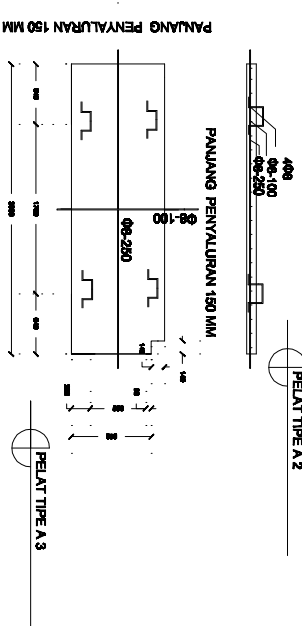
PELAT TYPE C 2



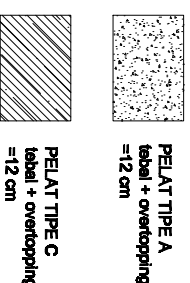
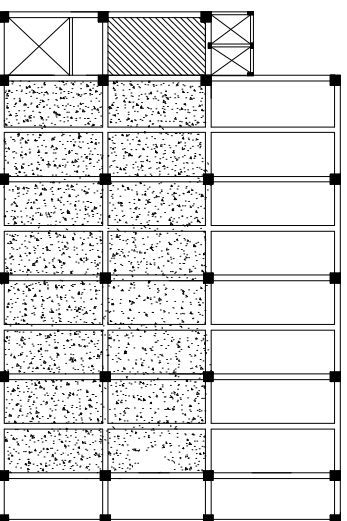
PELAT TYPE A 1



PELAT TYPE A 2



PELAT TYPE A 3



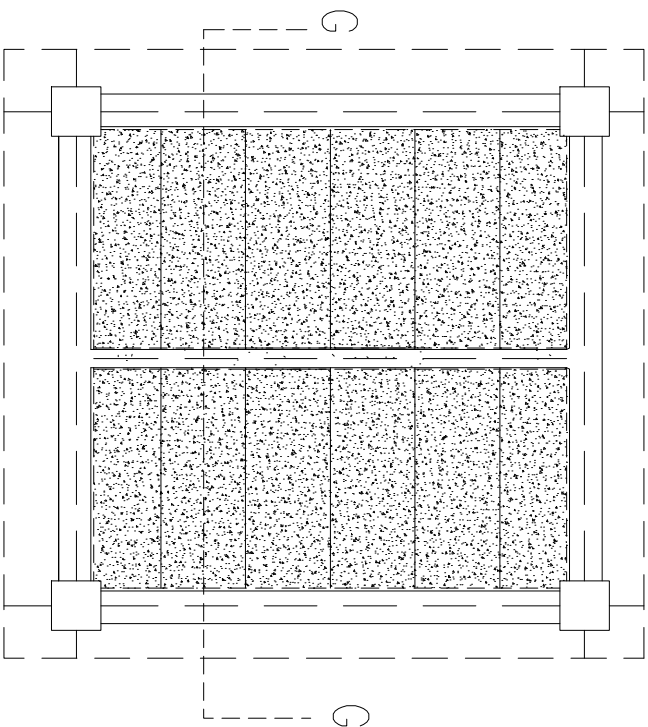
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

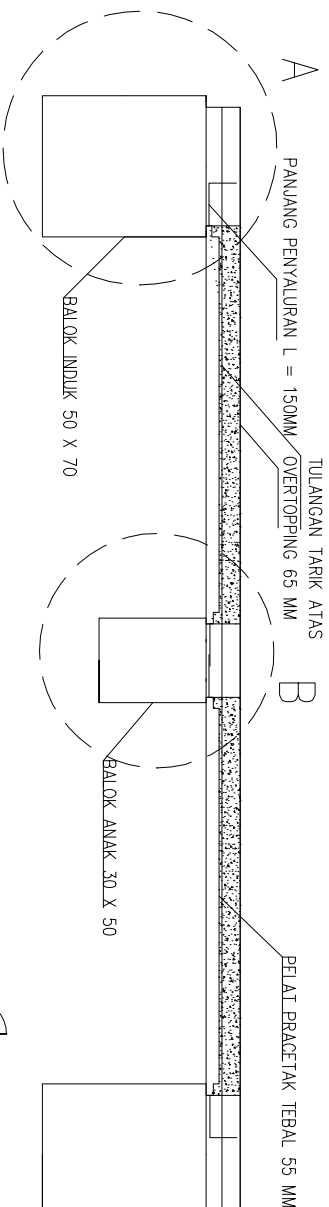
DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pupo Aji,ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
Tipe PELAT

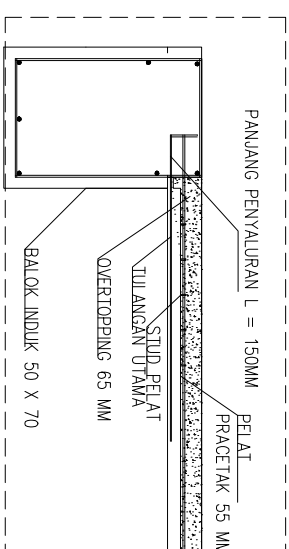
NOOR GAMBAR	SKALA	PELAKSIAN	AKHIR
STR	1 : 100	11	24



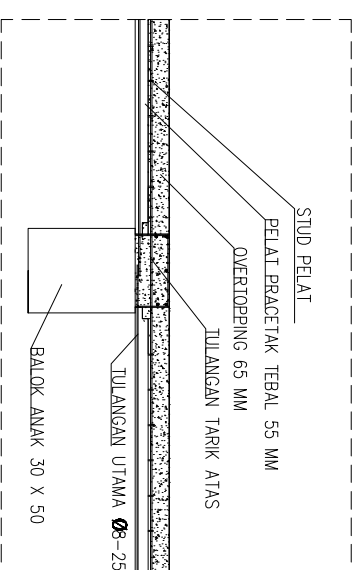
DENAH PELAT  
SKALA: 1:50



POTONGAN G-G  
SKALA: 1:50



DETAIL A  
SKALA: 1:50



DETAIL B  
SKALA: 1:50

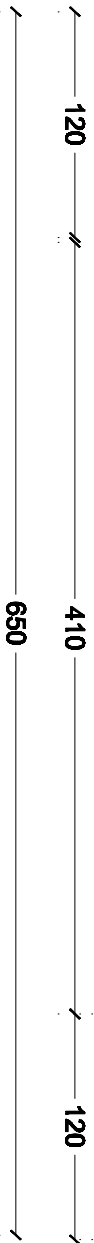
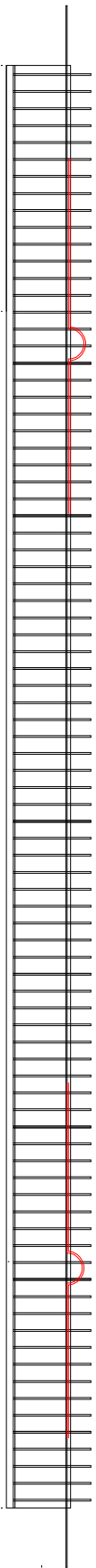
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA:  
PRIMAINDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.059

DOSIRN KONSULTASI:  
Dr.techn.Pupo A.ST.,MT.

JUDUL GAMBAR:  
SAMBUNGAN PELAT

KODE GAMBAR	REVISI	REVISI	JAMBAKIR
STR		12	24



KODE KONDISI	BA 1		KODE KONDISI	BA 2	
	TALANGAN LAMBATAN	TALANGAN TITIKSAMA		TALANGAN LAMBATAN	TALANGAN TITIKSAMA
BEKETA	8,5 METER		BEKETA	8,5 METER	
	30 CM X 60 CM			30 CM X 60 CM	
	40 MM			40 MM	
	3 DIB			3 DIB	
	7 DIB			6 DIB	
	2 DIB			2 DIB	
	Ø10 - 100 mm			Ø10 - 100 mm	
	Ø10 - 100 mm			Ø10 - 100 mm	

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

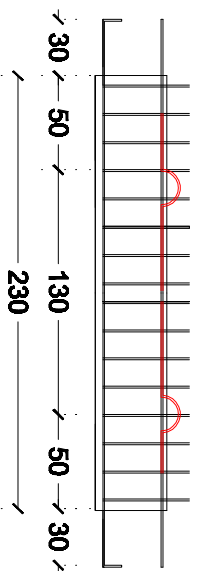
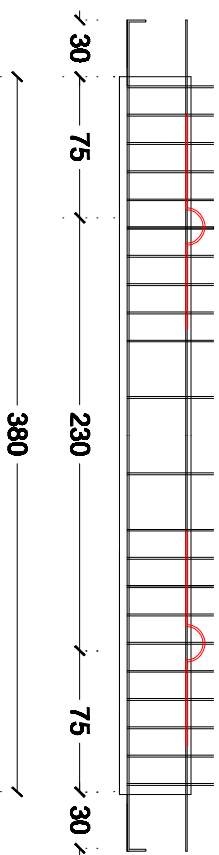
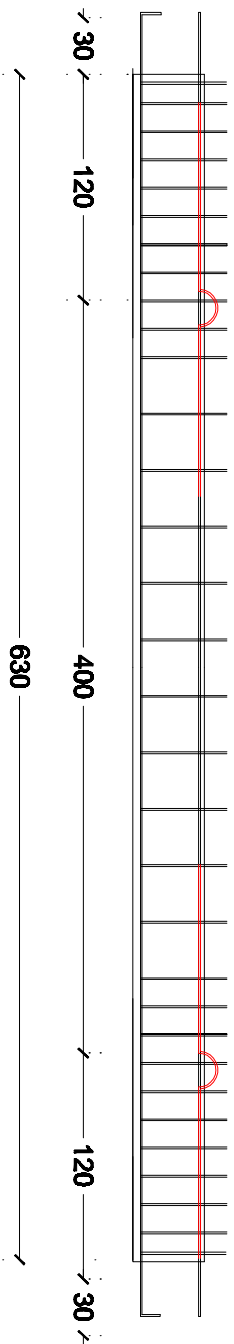
NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.099

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pupo Aji,ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
BALOK ANAK

KODE GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR
STR	1 : 100	13	24





KODE KONDISI	B3	B4	KODE KONDISI	B3	B5
	TAJAMNYA LAYIMAN	TAJAMNYA TIRIMAN		TAJAMNYA LAYIMAN	TAJAMNYA TIRIMAN
SKETSA			SKETSA		
BENTANG	6,3 METER	3,8 METER	BENTANG	2,3 METER	
PENAMPANG	50 CM X 70 CM	50 CM X 70 CM	PENAMPANG	50 CM X 70 CM	
DECKING	40 MM	40 MM	DECKING	40 MM	
ATAS	3 D29	2 D29	ATAS	3 D29	2 D29
BAWAH	3 D29	3 D29	BAWAH	3 D29	3 D29
TENGAH	2 D29	2 D29	TENGAH	2 D29	2 D29
TTL GEBER	D18 - 200 MM	D18 - 150 MM	TTL GEBER	D18 - 200 MM	D18 - 150 MM

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pupo Aji,ST.,MT.

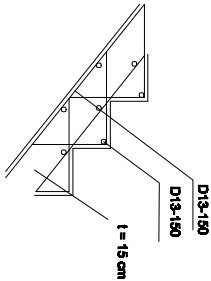
JUDUL GAMBAR :  
BALOK INDIK

KODE GAMBAR  
STR

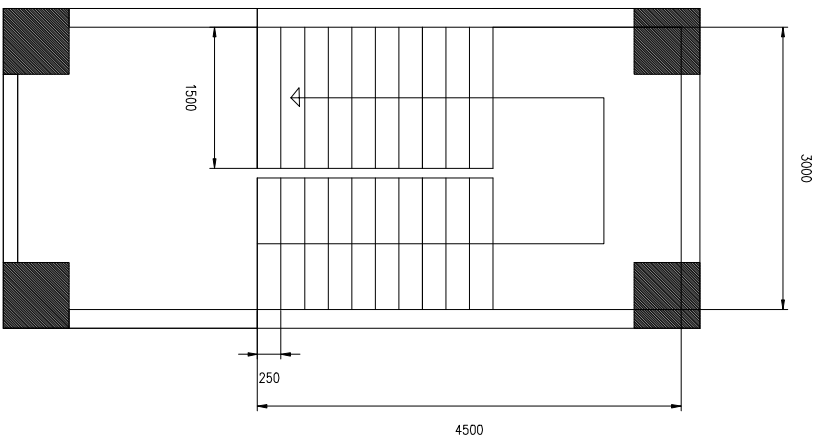
1 : 100

15

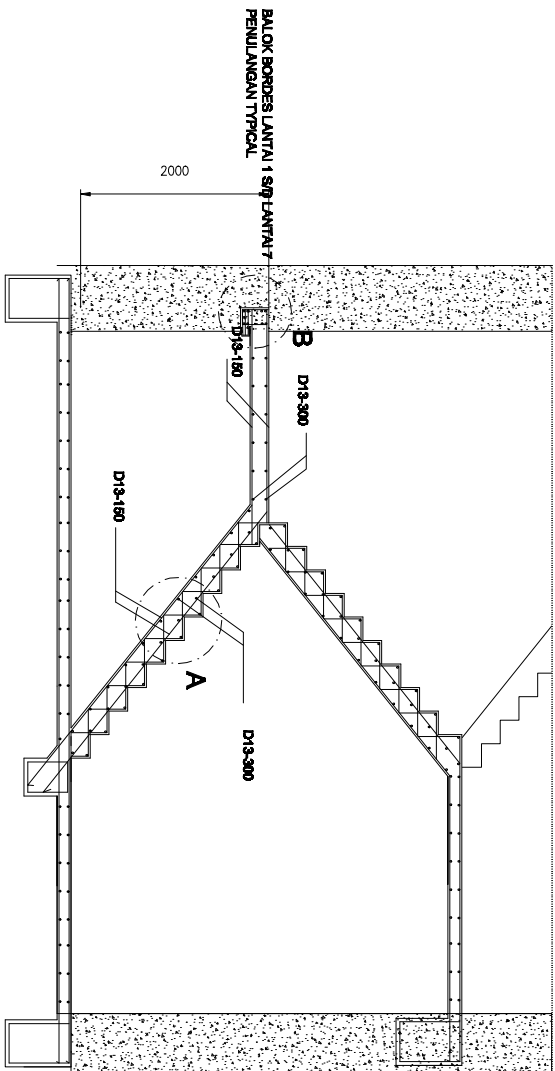
24



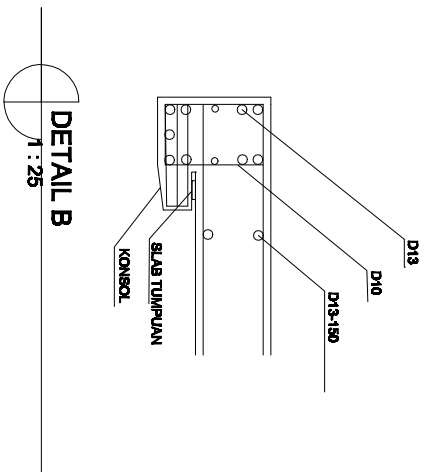
**DETAIL A**  
1 : 50



**DENAH TANGGA**  
1 : 100



**PENUANGAN TANGGA**  
1 : 100



**DETAIL B**  
1 : 25

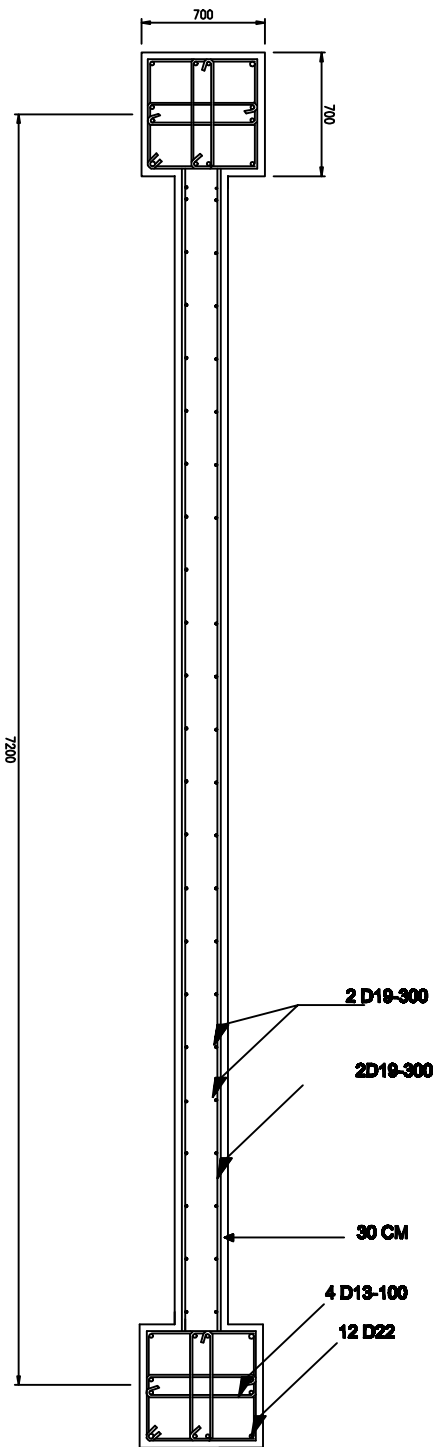
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

DOSEN PEMBIMBING :  
Dr.techn.Pujo Aji,ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
TANGGA

NOOR GAMBAR	SKALA	PELAKSANA	AKHIR
STR		16	24



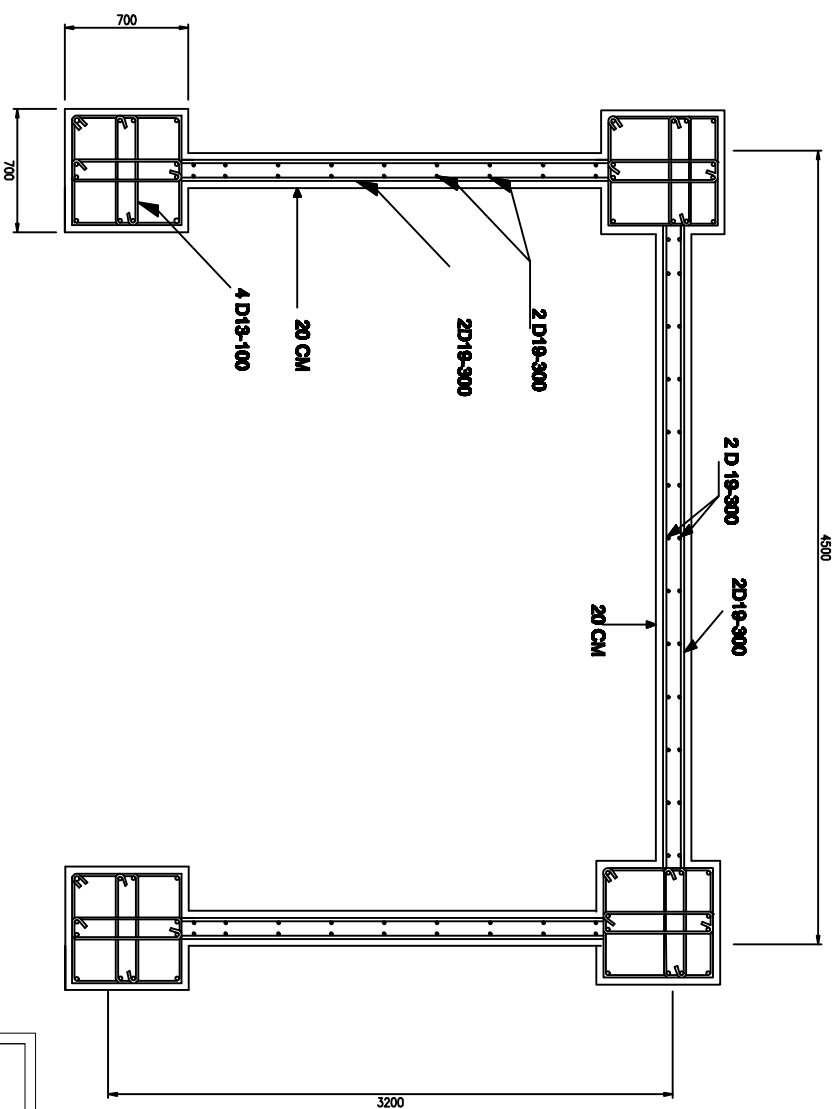
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya**

**NAMA MAHASISWA :**  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.039

**DOKEN PENJILIHAN :**  
Dr. Ir. Puji Aji, ST, MT.

**JUDUL GAMBAR :**  
DINDING GESEK 1

NOOR GAMBAR	SKALA	NO. LEMBAR	JML. LEMBAR
STR	1 : 100	17	24



**Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya**

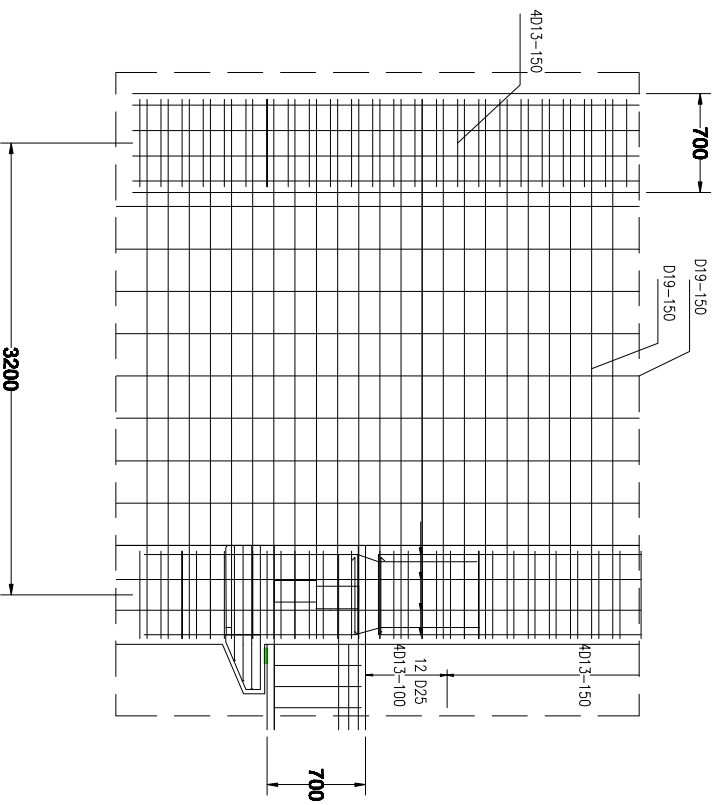
**NAMA MAHASISWA :**  
**PRILIANDIKA DAVID VILLASCO**  
NRP 3113100089

**Dosen Pembimbing :**  
**Dr. Ir. H. P. P. A. ST. JMT.**

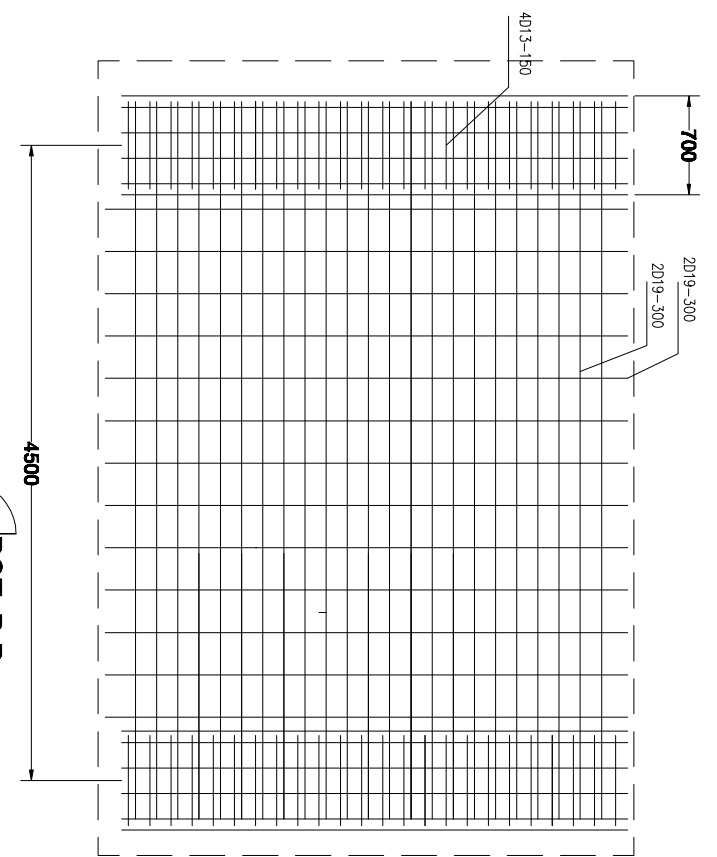
**JUDUL GAMBAR :**  
**DINDING GEBER 2**

NOOR GAMBAR	SKALA	REVISI	DATE
STR	1 : 100	18	24

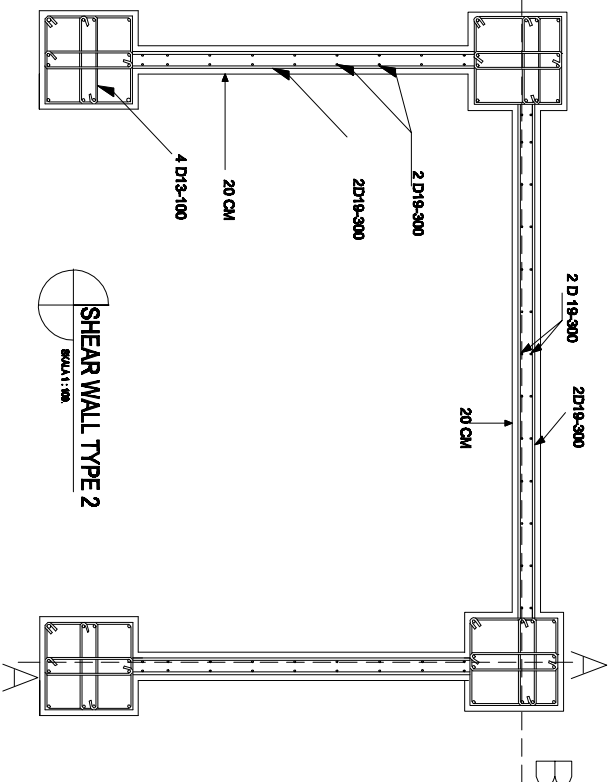




**POT. A-A**  
SKALA 1 : 100.



**POT. B-B**  
SKALA 1 : 100.



**SHEAR WALL TYPE 2**  
SKALA 1 : 100.

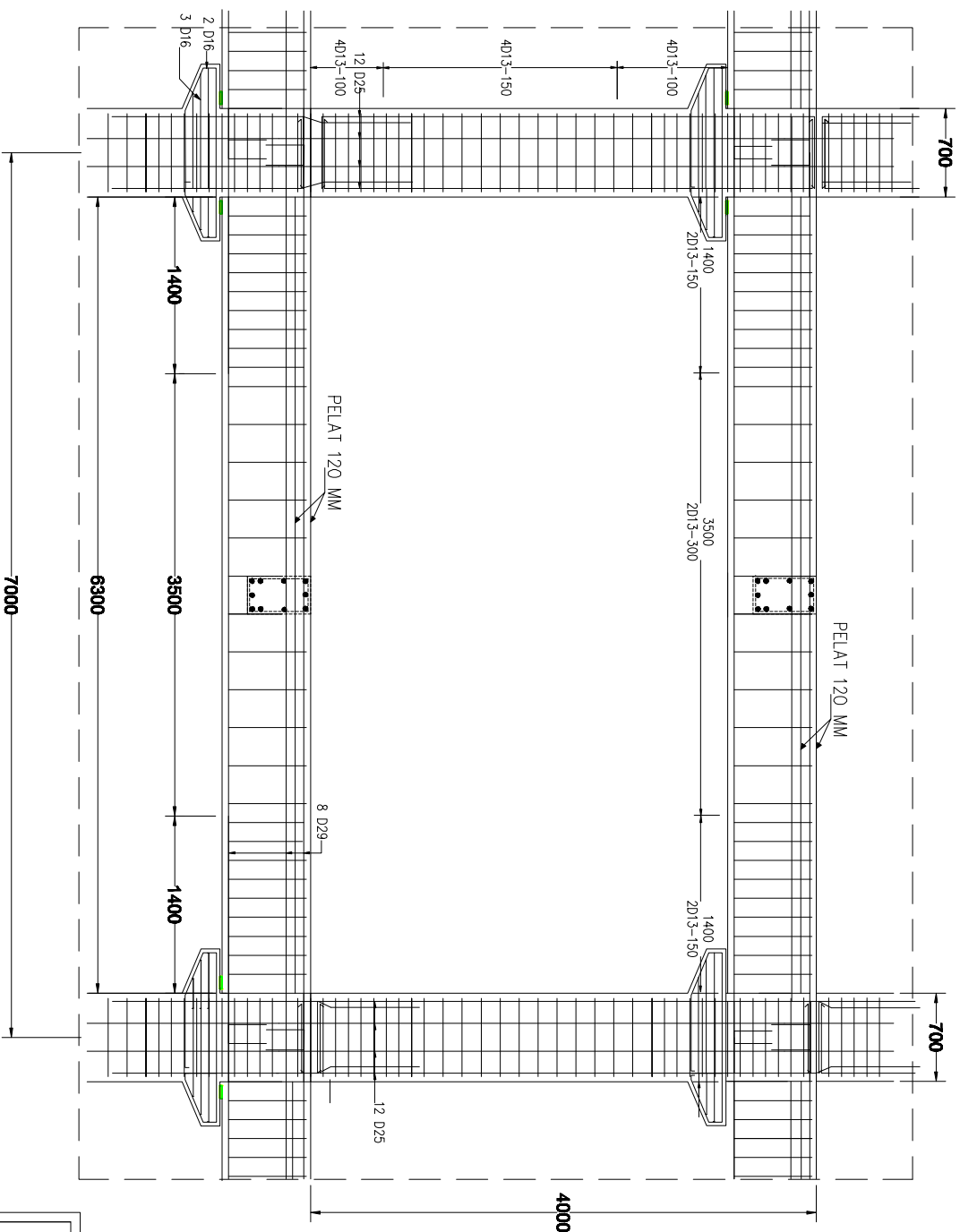
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIMAANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.059

DOSIEN KONSULTASI :  
Dr.techn.Pujo A.ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
DENAH DINDING GESER

KODE GAMBAR	SKALA	REVISI	JML. LEMBAR
STR	1 : 100	19	24



PORTAL

SKALA 1 : 100.

KODE	KI	KI
KONDISI	TAMBAHAN LAMPUAN	TAMBAHAN TAMBAHAN
SKETSA		
KETERANGAN		
PENAMPANG	70 CM X 70 CM	
DECKING	40 MM	
ATAS	4 D25	4 D25
BAWAH	4 D25	4 D25
TENGAH	4 D25	4 D25
BEGEL	D13 - 150 mm	D13 - 100 mm

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

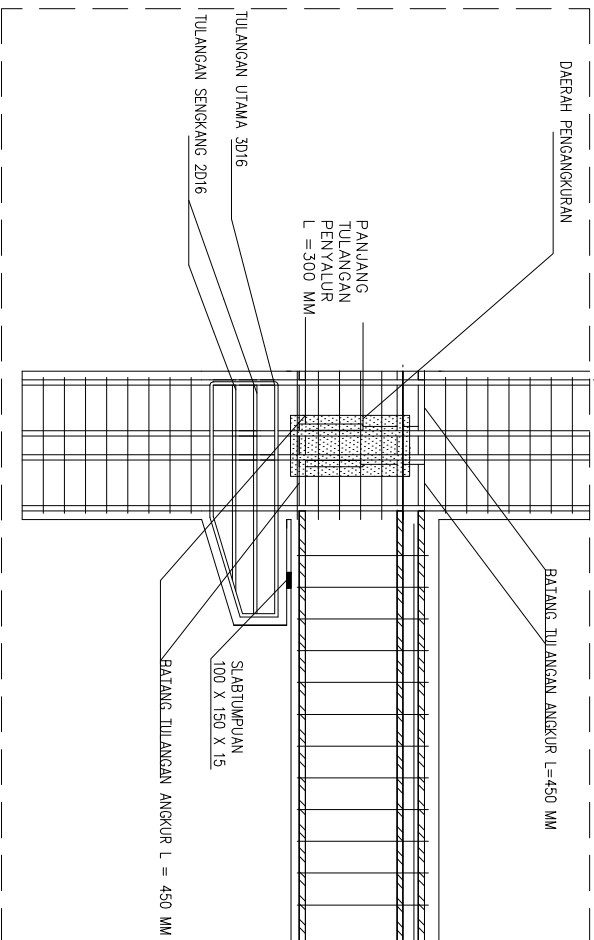
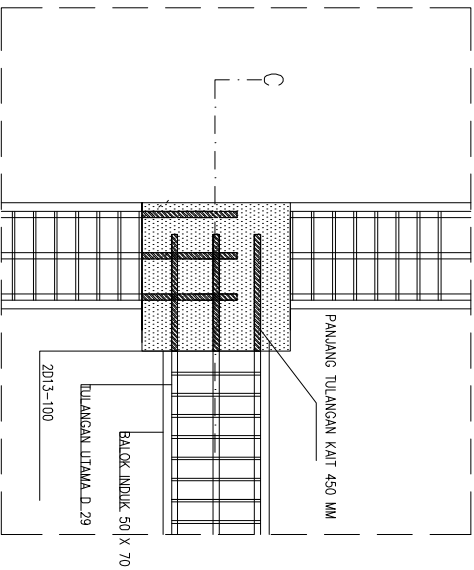
NAMA MAHASISWA :  
PRIMAINDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113 100 089

DOSIEN KONSULTASI :  
Dr.techn.Pupo A.ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
PORTAL

KODE GAMBAR	SKALA	REVISI	JML. LEMBAR
STR	1 : 100	20	24

POTONGAN C  
SKALA: 1 : 100



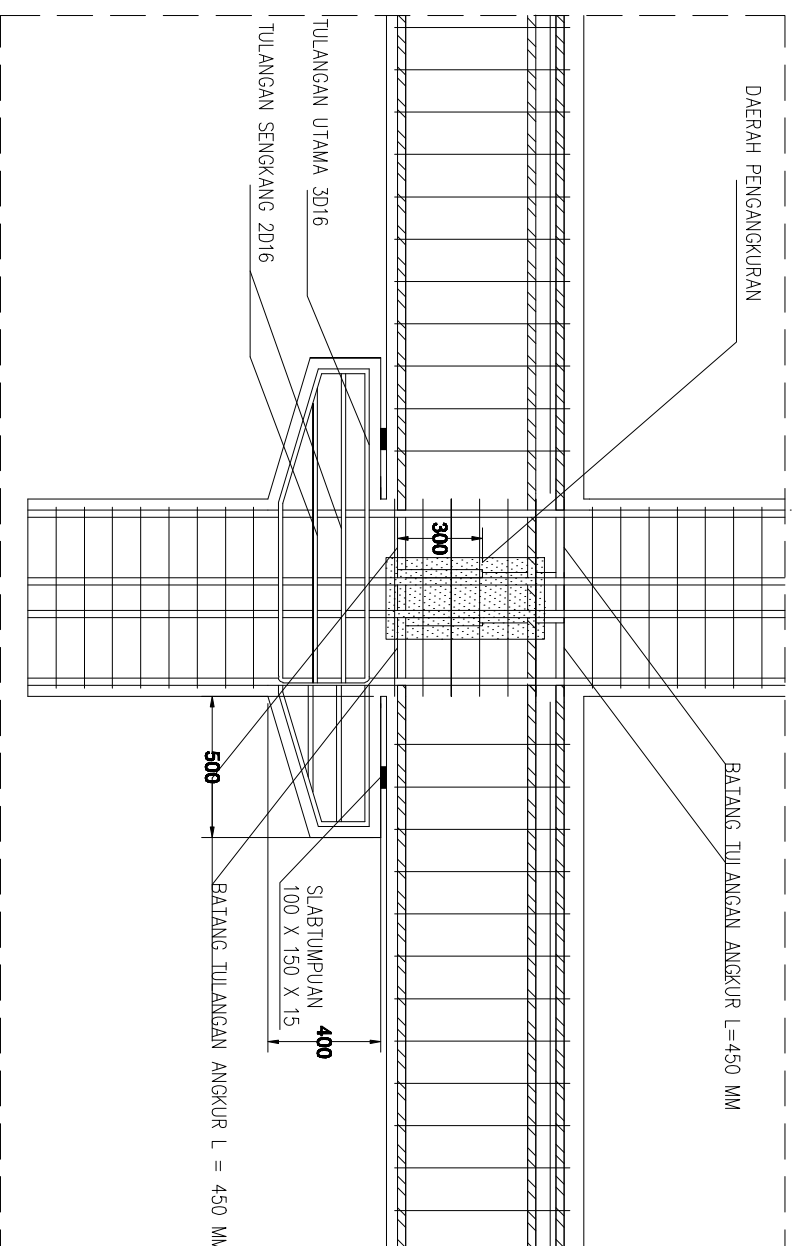
SAMBUNGAN KOLOM-BALOK DI TUMPUAN  
SKALA: 1 : 100

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

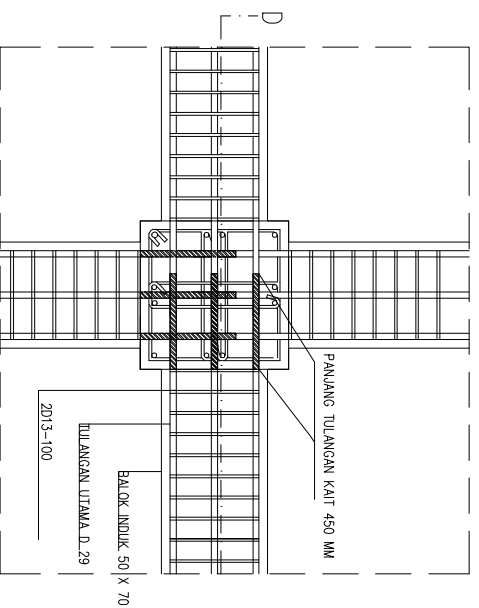
NAMA MAHASISWA :  
PRIMAINDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.059

DOSIEN KONSULTASI :  
Dr.techn.Pupo A.Y.ST.,MT.

JUDUL GAMBAR : SAMBUNGAN KOLOM			
KODE GAMBAR	REVISI	REVISI	JALAN
STR		21	24



**POTONGAN D**  
Skala: 1:50



**SAMBUNGAN KOLOM-BALOK DI TENGAH**  
Skala: 1:50

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIMAINDIKA DAVID VILLASCO  
NIP 3113 100 059

DOSIEN KONSULTASI :  
Dr.techn.Pupo A.ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
SAMBUNGAN KOLOM

KODE GAMBAR: STR

REVISI

REVISI

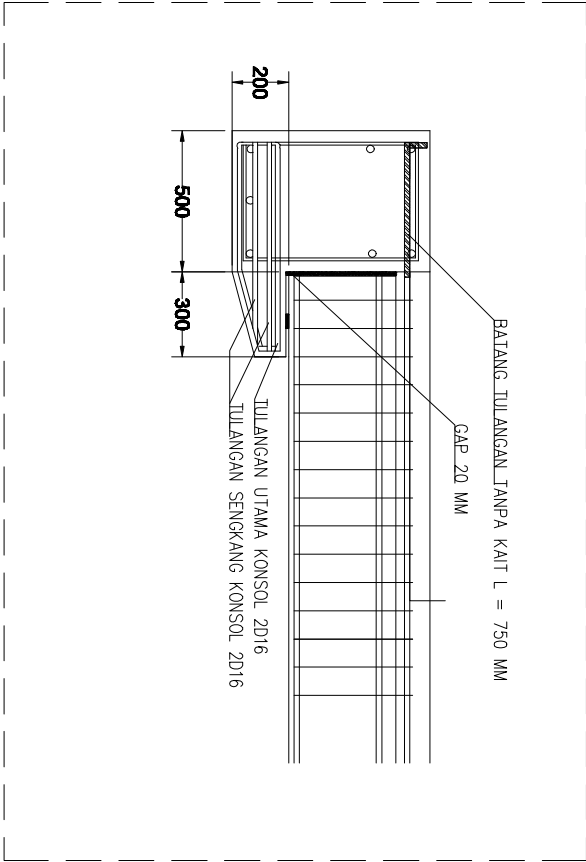
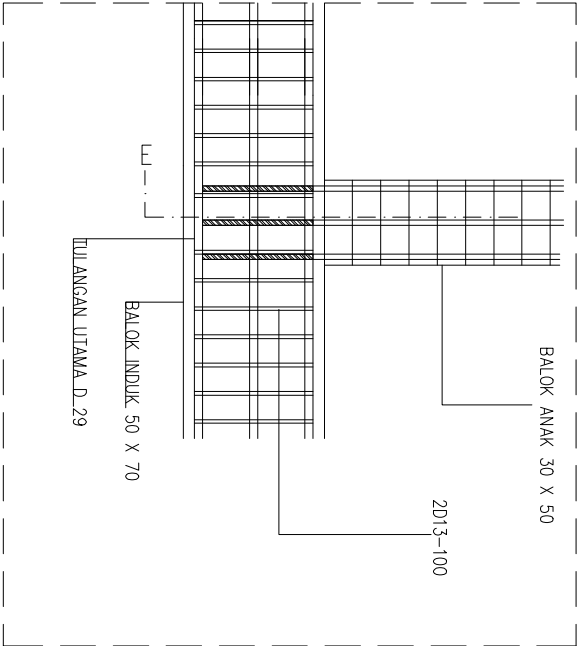
JALAN

STR

22

24

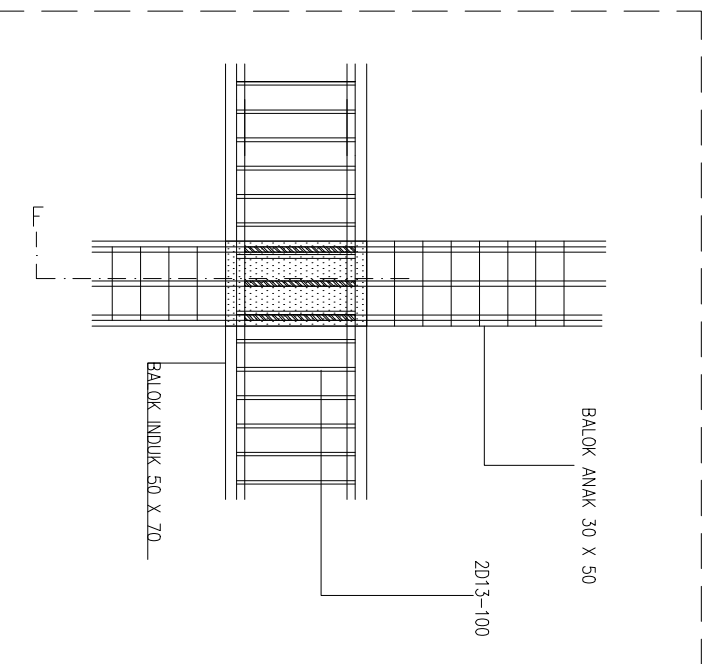
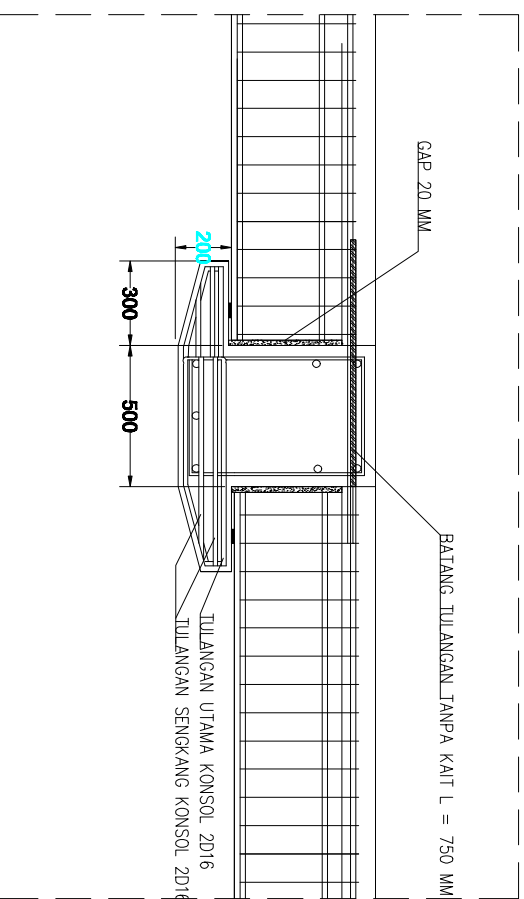
POTONGAN E  
SKALA: 1:100



SAMBUNGAN BALOK ANAK-BALOK INDUK DI TUMPUAN  
SKALA: 1:100

Institut Teknologi Sepuluh Nopember ITS Surabaya				
NAMA MAHASISWA : PRIMAANDIKA DAVID VILLASCO NRP 3113.100.089				
DOSEN KONSULTASI : Dr.techn.Pupo Aji ST.,MT.				
JUDUL GAMBAR : SAMBUNGAN BALOK	KODE GAMBAR	SKALA	REVISI	JALUR
	STR	1 : 100	23	24

POTONGAN F  
SKALA 1 : 100



SAMBUNGAN BALOK ANAK-BALOK INDUK DI TENGAH  
SKALA 1 : 100

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
ITS Surabaya

NAMA MAHASISWA :  
PRIYANDIKA DAVID VILLASCO  
NRP 3113.100.059

DOSIEN KONSULTASI :  
Dr.techn.Pupo Aji ST.,MT.

JUDUL GAMBAR :  
SAMBUNGAN BALOK

KODE GAMBAR				
STR	SKALA	REVISI	JMLAH	JMLAH
1 : 100	24	24	24	24